CULTIVANDO O FUTURO

TENDÊNCIAS E DESAFIOS NAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 4

RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA-MATOS
JANAIANE FERREIRA DOS SANTOS
GILCYVAN COSTA DE SOUSA
(ORGANIZADORES)

Atena Editora
Ano 2024

CULTIVANDO O FUTURO

TENDÊNCIAS E DESAFIOS NAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 4

RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA-MATOS
JANAIANE FERREIRA DOS SANTOS
GILCYVAN COSTA DE SOUSA
(ORGANIZADORES)

Atena Editora
Ano 2024

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Thamires Camili Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

2024 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do texto © 2024 Os autores
Copyright da edição © 2024 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.
Open access publication by Atena Editora

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Agrárias e Multidisciplinar
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Cultivando o futuro: tendências e desafios nas ciências agrárias 4

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Janaiane Ferreira dos Santos
Gilcyvan Costa de Sousa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C968 Cultivando o futuro: tendências e desafios nas ciências agrárias 4 / Organizadores Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos, Janaiane Ferreira dos Santos, Gilcyvan Costa de Sousa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-2470-3
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.703240104

1. Ciências agrárias. I. Silva-Matos, Raissa Rachel Salustriano da (Organizadora). II. Santos, Janaiane Ferreira dos (Organizadora). III. Sousa, Gilcyvan Costa de (Organizador). IV. Título.

CDD 630

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

Embora o âmbito das Ciências Agrárias seja permeado por diferentes desafios, através das pesquisas científicas têm se obtido cada vez mais meios e mecanismos para o melhoramento agrícola, seja no que diz respeito ao plantio, desenvolvimento da produção, colheita e pós-colheita. Ademais, por intermédio das diferentes linhas de produção científica, relacionadas ao setor agrícola, estudos que visam uma produção agronômica com melhor aproveitamento econômico, sustentabilidade e elevada eficiência de resultados, estão frequentemente sendo estruturados e desenvolvidos na busca por suplantar desafios e estabelecer novas tendências.

Além disso, o desenvolvimento tecnológico científico, associado ao campo das Ciências Agrárias, tem cada vez mais impulsionado descobertas e estudos completos acerca de diferentes assuntos com importância no contexto da agricultura atual, inclusive acerca da eficiência de bioprodutos na agricultura, desempenho agronômico de determinados espécies vegetais, aceleração do crescimento de cultivares por intermédio de microrganismos e muitos mais.

Nesse contexto, levando em consideração o aperfeiçoamento profissional dos profissionais das Ciências Agrárias, o presente livro reuniu alguns dos principais trabalhos sobre diferentes temáticas relevantes no contexto da ciência agrícola atual, principalmente no intuito de enfatizar tendências e detalhar certos desafios da agricultura atual. Desde já lhe desejamos uma ótima leitura!

Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos
Janaiane Ferreira dos Santos
Gilcyvan Costa de Sousa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

PÊNFIGO FOLIÁCEO EM CÃO DA RAÇA BORDER COLLIE: RELATO DE CASO

Gabriele de Almeida
Maria Eduarda Strapazzon
Leticia Lais Zambiasi
Héllen Alana de Castro
Fabíola Raber da Silva
Arthur de Moura de Miranda
Renan Idalencio
Mariana Dalla Palma

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401041

CAPÍTULO 2 4

USO DE *BACILLUS SUBTILIS* (EHRENBERG) COHN NA AGRICULTURA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Janaiane Ferreira dos Santos
Luiz Alberto Melo de Sousa
Fernando Freitas Pinto Júnior
Janine Quadros Castro
Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401042

CAPÍTULO 3 15

PESTICIDE BEHAVIOR IN AGRICULTURAL SOILS WITH SPECIAL REFERENCE TO THE TROPICAL REGION

Claudio Aparecido Spadotto
Eliana Freire Gaspar de Carvalho Dores
Rafael Mingoti

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401043

CAPÍTULO 4 43

CATALYTIC PROPERTIES OF PHYTASES FOR INCLUSION IN POULTRY AND PIG DIETS

Júlio Cézar dos Santos Nascimento
Apolônio Gomes Ribeiro
Hilton Nobre da Costa
Dayane Albuquerque da Silva
Elisabete Albuquerque dos Santos Benvenuto
Carlos Bôa-Viagem Rabello
José António Couto Teixeira
Tatiana Souza Porto
Ana Lúcia Figueiredo Porto

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401044

CAPÍTULO 5 56

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA POR COLORÍMETRO DIGITAL DA COR DA MORTADELA DEFUMADA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE MADEIRAS PARA DEFUMAÇÃO

Ligiani Zonta Danielli
Marco Antônio Pereira Silva
Rogério Favareto

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401045

CAPÍTULO 6 63

CONSUMO HÍDRICO DA LIMA ÁCIDA THAITI IRRIGADA POR GOTEJAMENTO EM DELMIRO GOUVEIRA, AL

José Maria Pinto
José Crispiniano Feitosa Filho
Rebert Coelho Correia

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401046

CAPÍTULO 7 68

NUTRITIONAL BENEFITS OF INCLUDING EDIBLE INSECT CO-PRODUCTS IN PET FOOD

Júlio Cézar dos Santos Nascimento
Apolônio Gomes Ribeiro
Ricardo Romão Guerra
Danila Barreiro Campos
Dayane Albuquerque da Silva
Hilton Nobre da Costa
Carlos Bôa-Viagem Rabello
Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke
Elisabete Albuquerque dos Santos Benvenuto
Daniela Pinheiro de Oliveira
Marcos José Batista dos Santos
Gilcifran Prestes de Andrade
Priscilla Virgínio de Albuquerque
José Lypson Pinto Simões Izidro

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401047

CAPÍTULO 8 78

CONSUMO HÍDRICO DO COCO ANÃO IRRIGADO POR MICROASPERSÃO MUNICIPIO DE GLÓRIA, BA

José Maria Pinto
José Crispiniano Feitosa Filho
Rebert Coelho Correia

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401048

CAPÍTULO 9 84

EFEITO DE PULVERIZADOR COM ASSISTÊNCIA A AR NOS NÍVEIS DE RUÍDO EMITIDOS POR TRATOR AGRÍCOLA

Stefani Refatti Moraes
Vilnei de Oliveira Dias
Eracilda Fontanela
Jhon Pablo Lima Cornélio
Lanes Beatriz Acosta Jaques
Maria Eduarda Hitz
Natália do Nascimento Garcez
Vitor Romário Charão Nunes

https://doi.org/10.22533/at.ed.7032401049

CAPÍTULO 10.....88

EFICIÊNCIA DO MILHETO NO CONTROLE DE PLANTAS E SEU EFEITO SOBRE A CULTURA QUANDO CULTIVADO JUNTAMENTE COM A MELANCIA

Luan Cardoso Barros
Marcelo Alves Terra†
Ana Laura Salgado de Oliveira
Caroline Vieira da Silva
Areno Soares Carneiro

https://doi.org/10.22533/at.ed.70324010410

CAPÍTULO 11 98

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE DIFERENTES HÍBRIDOS DE MILHO DE IMPORTÂNCIA REGIONAL PARA O SUDOESTE MINEIRO

Maria Gabriela de Queiroz
Anderson Antônio Rodrigues de Oliveira
Thalia Gonçalves Moraes
Jean Silveira Soares Souza
Evandro Freire Lemos
Antonio Augusto Nogueira Franco
Isabela Cristina Gomes Honório
Vinícius de Abreu D'Ávila
José Ricardo Ferreira Lopes
Thaís Helena de Araujo
Antonio Tassio Santana Ormond
Bruno Silva Pires

https://doi.org/10.22533/at.ed.70324010411

CAPÍTULO 12 106

PNEUMONIA FÚNGICA EM EQUINOS: REVISÃO DE LITERATURA

Júlia Gabriely de Souza Freita
Ana Clara Oliveira Dias
Andreza Alvarenga Rabelo
Bernardo Perácio Sales
Helena Sasdelli Miranda
Igor Almeida Miranda
Isabela Eduardo da Silva
Júlia Esther Costa Andrade
Juliana de Oliveira Alves

https://doi.org/10.22533/at.ed.70324010412

CAPÍTULO 13 112

PROTEÍNAS, AMINOÁCIDOS E VARIÁVEIS METABÓLICAS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

Vanessa Ferreira Batista
Maylanne Sousa de Lima
Rafael Silva Marchão
Felipe Barbosa Ribeiro
Marcos Antonio Delmondes Bomfim
Gilmar Amaro Pereira
Geisiane Silva Sousa
Vanilsa Chaves de Sousa
Milena Sousa Veiga
Luana Cardoso Silva
Marcos Vinicius Silva Bastos
Antonia Francisca Lima Cardoso

https://doi.org/10.22533/at.ed.70324010413

CAPÍTULO 14 123

EXPLORANDO O PAPEL DAS BACTÉRIAS PRODUTORAS DE ACC DESAMINASE NO CRESCIMENTO DO TRIGO (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Clarissa Castoldi Facco
Nataniel de Oliveira Amarante
Christiane Fernandes de Oliveira
Jorge Andres Betancur Gonzalez
Paulo Henrique da Silva Câmara
Raphael Ramon Buch
Vitória dos Santos Alves
Euvaldo de Sousa Costa Junior
Victor Roberto da Silva
Elelan Vitor Machado
Bruna da Rosa Dutra
Fernando Luis Diniz D'Avila

https://doi.org/10.22533/at.ed.70324010414

SOBRE OS ORGANIZADORES 140

ÍNDICE REMISSIVO 141

CAPÍTULO 1

PÊNFIGO FOLIÁCEO EM CÃO DA RAÇA BORDER COLLIE: RELATO DE CASO

Data de aceite: 01/04/2024

Gabriele de Almeida
Acadêmica de Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo – RS/Brasil

Maria Eduarda Strapazzon
Acadêmica de Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo – RS/Brasil

Leticia Lais Zambiasi
Acadêmica de Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo – RS/Brasil

Héllen Alana de Castro
Acadêmica de Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo – RS/Brasil

Fabíola Raber da Silva
Acadêmica de Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo – RS/Brasil

Arthur de Moura de Miranda
Médico Veterinário Residente em Anestesiologia de Cães e Gatos do Hospital Veterinário da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo – RS/Brasil

Renan Idalencio
Professor Doutor do curso de Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, Departamento de Anestesiologia de Pequenos Animais – RS/Brasil

Mariana Dalla Palma
Médica Veterinária do Hospital Veterinário da Universidade de Passo Fundo, Departamento de Clínica Médica Especialista em Dermatologia de Pequenos Animais. Passo Fundo – RS/Brasil

RESUMO: Pênfigo foliáceo é uma afecção imunológica de pele dividida em duas categorias. O complexo pênfigo é a denominação dada à um grupo de enfermidades autoimunes que lesionam pele e mucosas, é uma doença cutânea autoimune que se dá pela produção de anticorpos contra os desmossomos, que fazem a adesão dos queratinócitos, sendo caracterizada por lesões erosivas. O diagnóstico dessa doença ocorre através de histórico, anamnese, exames complementares como citologia de pele e histopatológico. O tratamento é demorado e consiste em suprimir a resposta imunológica do animal.

PALAVRAS-CHAVE: Cães, autoimune, prurido, idiopática, histopatológico

INTRODUÇÃO

As afecções imunológicas da pele podem ser divididas em autoimunes (primárias) e imunomediadas (secundárias), sendo que no primeiro é decorrente da produção de anticorpos contra componentes da pele (ARAUJO, 2019). O complexo pênfigo é a denominação dada à um grupo de doenças autoimunes que lesionam pele e mucosas, como o pênfigo bolhoso, foliáceo, vulgar e paraneoplásico (WACHHOLZ, et. al. 2022). O pênfigo foliáceo é uma doença cutânea autoimune que se dá pela produção de anticorpos contra os desmossomos, que fazem a adesão dos queratinócitos, sendo caracterizada por lesões erosivas. É uma doença infrequente em animais de companhia, mas é a doença autoimune mais comum em cães e gatos, podendo afetar animais de qualquer idade, sexo ou raça, mas, dentre os cães parece prevalecer mais entre as raças Akita, Chow Chow e Border Collie.

Esse trabalho teve como objetivo relatar um caso de pênfigo foliáceo em um cão, da raça Border Collie, com 10 anos e 3 meses de idade, fêmea atendida pela clínica médica de pequenos animais no Hospital Veterinário da Universidade de Passo Fundo, em Passo Fundo, Rio grande do Sul.

RELATO DE CASO

Foi atendido no Hospital Veterinário da Universidade de Passo Fundo, no município de Passo Fundo, RS, um canino, fêmea, da raça Border Collie, 27 kg, com dez anos e três meses, com histórico de lesões na região ventral do abdômen de evolução de seis meses. Ao exame físico foram visualizadas lesões ulceradas, erosivas, com presença de crostas e pústulas bem como colaretes epidérmicos distribuídas em forma de placas. A paciente foi encaminhada para exames complementares, hemograma, albumina, ALT, FA e ultrassom, os quais não demonstraram alterações relacionadas, foi indicado a biopsia lesional, sendo necessário a internação da paciente para a descontaminação das lesões. Durante a internação, a paciente foi medicada com metadona (0,2 mg.Kg-1), succinato de metilprednisolona (2 mg.Kg-1), cefalotina (25 mg.Kg-1) e dipirona sódica (25 mg.Kg-1), também sendo realizada a limpeza das feridas duas vezes ao dia. Após a descontaminação das lesões, a paciente foi encaminhada ao bloco cirúrgico para realização da biópsia. Como medicação pré-anestésica da paciente foi realizado fentanil (2,5 μg.Kg-1) e cetamina (1,5 mg.Kg-1), ambas pela via intravenosa, seguido pela indução anestésica com propofol (3 mg.Kg-1). A paciente foi submetida à infusão contínua de fentanil (5 μg.Kg.h-1) para analgesia. Iniciado o procedimento cirúrgico, foi realizada a coleta de 4 fragmentos de pele com pelos e sujidades, posteriormente realizando a redução do espaço subcutâneo com fio de sutura poliglecaprone 3-0 e dermorrafia com nylon 4-0 no padrão de sutura Sultan. As amostras de pele foram encaminhadas ao laboratório de patologia, onde foram observadas lesões compatíveis com pênfigo foliáceo.

O pênfigo foliáceo se manifesta geralmente de maneira idiopática, mas também pode ser induzido pelo uso de fármacos ou ser sequela de lesões cutâneas crônicas (HLINICA, 2018), considerando que o canino em questão já havia sido atendido previamente sendo tratado por piodermite com antibióticos, dentre eles cefalexina e norfloxacina, anti-inflamatórios e banhos terapêuticos, aos quais não obteve melhora, não se pode determinar a origem da doença. As lesões primárias de pênfigo foliáceo são superficiais, porem dificilmente as pústulas são encontradas intactas, já que são frágeis e se rompem facilmente, além das lesões serem ocultas pela pelagem. As lesões secundárias possuem crosta, erosões superficiais e descamações. A doença começa normalmente na ponte nasal, ao redor dos olhos e no pavilhão auricular (HLINICA, 2018). Após o período de internação, o paciente recebeu alta, sendo prescrito omeprazol 20 mg, cefalexina 600 mg, prednisolona 20 mg, dipirona 1 g e tramadol 100 mg, sendo recomendado o uso de colar elizabetano e roupa cirúrgica e higiene das lesões, retornando em 15 dias para reavaliação. Após esse período, o paciente passou por reconsulta, na qual foi observado uma diminuição nas lesões e eritema, respondendo bem ao tratamento e sendo recomendada reavaliação novamente em 15 dias, sendo incluída na terapia azatioprina 50 mg, um fármaco imunossupressor não esteroidal seguro para uso em cães (HLINICA, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pôde-se observar que o plano terapêutico multimodal instituído ao paciente foi eficaz para o tratamento das lesões, sendo que a associação da azatioprina com o glicocorticoide prednisolona possuem ação imunossupressora, reduzindo a resposta imune à qual o animal desenvolve as lesões relacionadas ao pênfigo foliáceo.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Adjanna K. L.; GONDIM, Adriana L. C. L. Pênfigo Foliáceo Canino: Relato de Caso. Pubvet, 2019. Disponível em: http://www.pubvet.com.br/artigo/6478/pecircnfigo-foliaacuteceo-canino-relato-de-caso. Acesso em: 07 de agosto de 2022.

HLINICA, Keith A. Dermatologia De Pequenos Animais. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. 9788595151628. E-book. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595151628/. Acesso em: 07 ago. 2022.

WACHHOLZ, Péter L. et al. Pênfigo foliáceo em um cão- Relação clínica, citopatológica e histopatológica. Pesquisa, sociedade e desenvolvimento, 2022. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25683. Acesso em: 07 de agosto de 2022.

CAPÍTULO 2

USO DE *BACILLUS SUBTILIS* (EHRENBERG) COHN NA AGRICULTURA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Data de submissão: 26/03/2024 *Data de aceite: 01/04/2024*

Janaiane Ferreira dos Santos
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/9678500549107690

Luiz Alberto Melo de Sousa
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/4039999947043150

Fernando Freitas Pinto Júnior
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/2110652316121025

Janine Quadros Castro
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/6973661280730132

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/0720581765268326

RESUMO: A agricultura é um dos setores da economia que mais cresce ao longo dos anos, isso pode ser atribuído ao aumento da produtividade. Diversos fatores afetam essa produção, como o surgimento de pragas e doenças, propiciando o uso demasiado de agroquímicos. Uma alternativa sustentável e econômica é o uso de bioinsumos. A rizobactéria *Bacillus subtilis* pode ser utilizada como promotora de crescimento e no controle biológico de doenças de plantas. Por desempenhar essas funções, sua aplicação na agricultura tem se tornado de grande importância. Neste contexto, buscou-se realizar uma revisão integrativa, sobre o uso de *Bacillus subtilis* na agricultura. Para o estudo foi utilizado o método de seleção de artigos científicos, denominado ProKnow-c. Esse método trata-se da sistematização do processo de busca e seleção de artigos, fazendo uso de técnicas de análise bibliométrica. Após seleção e análise dos artigos obteve-se um portfólio de 78 trabalhos relevantes, de reconhecimento científico e alinhados com o tema da pesquisa. Observou-se que a China é o país que apresenta o maior número de publicações, o Brasil ocupa a terceira posição. Os anos de 2019 e 2021 foram os períodos com maior número

de publicações e 2022 com maior número de citações. A maioria dos autores obtiveram quantidades semelhantes de publicações e o maior número de citações (77) foram observadas na publicação de Wang et al. (2018). Assim, pode-se concluir que o *Bacillus subtilis* é uma bactéria de suma importância na agricultura e que vem sendo bastante utilizada e estudada ao longo dos anos.
PALAVRAS-CHAVE: Bioinsumos; ProKnow-C; Análise bibliométrica; Agronegócio; Rizobactéria.

USE OF *BACILLUS SUBTILIS* (EHRENBERG) COHN IN AGRICULTURE: BIBLIOGRAPHIC REVIEW

ABSTRACT: Agriculture is one of the fastest growing sectors of the economy over the years, this can be attributed to increased productivity. Several factors affect this production, such as the emergence of pests and diseases, leading to the excessive use of agrochemicals. A sustainable and economical alternative is the use of bioinputs. The rhizobacterium *Bacillus subtilis* can be used as a growth promoter and in the biological control of plant diseases. By performing these functions, its application in agriculture has become of great importance. In this context, we sought to carry out an integrative review on the use of *Bacillus subtilis* in agriculture. For the study, the method of selection of scientific articles, called ProKnow-c, was used. This method deals with the systematization of the process of searching and selecting articles, making use of bibliometric analysis techniques. After selection and analysis of the articles, a portfolio of 78 relevant works of scientific recognition and aligned with the research theme was obtained. It was observed that China is the country with the highest number of publications, Brazil occupies the third position. The years 2019 and 2021 were the periods with the highest number of publications and 2022 with the highest number of citations. Most authors obtained similar amounts of publications and Wang et al. (2018) observed the highest number of citations (77) in the publication. Thus, it can be concluded that *Bacillus subtilis* is a bacterium of paramount importance in agriculture and that it has been widely used and studied over the years.
KEYWORDS: Bioinputs; ProKnow-C; Bibliometric analysis; Agribusiness; Rizobacteria.

INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos setores da economia que mais contribui para o crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, sendo responsável por 24,8% de todas as riquezas produzidas (CEPEA/ESALQ, 2023). Este setor torna o país uma referência mundial na produção agrícola e um dos maiores exportadores de cereais, grãos e frutas (RONCON, 2011). Entretanto, um complexo de fatores bióticos afeta de forma negativa o potencial produtivo das diferentes culturas. Dentre estes fatores, destacam-se as pragas e doenças, que acarretam na perda de produtividade, tornando-se um dos maiores entraves da produção agrícola por propiciar o uso intensivo de agroquímicos (SANTANA et al., 2018).

Assim, o uso de produtos biológicos tem ganhado espaço ao longo dos anos, impulsionado, principalmente, pela demanda por produtos menos agressivos aos

organismos não-alvos e ao ambiente (MEYER et al., 2022). Como alternativa a esses problemas, surgiram na indústria os bioinsumos, que são produtos de origem biológica e apresentam componentes promotores de crescimento de plantas e de biocontrole, sem causar danos ambientais (PATHMA et al., 2021).

Uma opção sustentável para o mercado agrícola, visando à redução do uso de agroquímicos e, consequentemente, o custo de produção, é o uso de rizobactérias do gênero *Bacillus*. Estas são as mais utilizadas no controle biológico em várias partes do mundo. São bactérias Gram-positivas e aeróbicas, podendo facultativamente crescer em anaerobiose (SANTOS et al., 2019; MONNERAT et al., 2020).

As bactérias do gênero *Bacillus*, em especial *Bacillus subtilis*, estão entre as mais abundantes na rizosfera. Estas atuam indiretamente na supressão de doenças e diretamente na produção ou alteração da concentração de fitormônios, fixação de nitrogênio, solubilização de fosfatos minerais ou outros nutrientes do solo, oxidação do enxofre, aumento de permeabilidade das raízes e produção de sideróforos (MARIANO; KLOEPPER, 2000).

Em suma, os inoculantes à base de *Bacillus subtilis* utilizados como agentes de biocontrole e promotores de crescimento no meio agrícola, representam uma alternativa mais sustentável nos âmbitos econômico e ambiental, tornando-se um método atrativo, eficiente e ambientalmente menos agressivo que defensivos e fertilizantes químicos (SHAFI et al., 2017).

Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de realizar uma revisão integrativa sobre o uso de *Bacillus subtilis* na agricultura mundial, no intuito de obter informações relevantes que possibilitem incentivar o uso de bioinsumos no Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na plataforma Web of Science (WOS) com objetivo de gerar um banco de dados para elaboração deste estudo. Os dados bibliométricos obtidos foram exportados e analisados no Excel versão 2013. A técnica bibliométrica permite sistematizar a contribuição de determinado tema para a literatura, focando nos aspectos quantitativos do conteúdo, possibilitando maior transparência e organização, além de contribuir para melhores resultados e tomada de decisões por aqueles que estudam o assunto (DUTRA, et al., 2017). Assim, as análises foram então conduzidas focando nos seguintes tópicos: quantidade de publicações por ano, regionalização de publicação, reconhecimento científico e notoriedade de autores.

Critérios e filtros utilizados para formação do portfólio

Inicialmente, definiu-se as palavras-chave, que constituíram o primeiro filtro para a seleção de artigos. Em seguida foi definido a formação do comando de busca a ser utilizado no processo de pesquisa na WOS, que assim ficou estabelecido: "*Bacillus*" OR "*Bacillus subtilis*" OR "*B. subtilis*", que associa as palavras-chaves e assim pode realizar uma única pesquisa com todos os filtros necessários; idioma "inglês" e "português"; todos os trabalhos de "acesso aberto"; ano de publicação entre 2018 e 2022; país/região "todos"; todos os tipos de documentos; e todos os campos de pesquisa.

Para a seleção do referencial bibliográfico foi utilizada a metodologia conhecida como ProKnow-C (Knowledge Development Process - Constructivist) (ENSSLIN et al., 2010; TASCA et al., 2012). Essa metodologia tem sido amplamente usada para apoiar revisões sistemáticas (CARVALHO et al., 2020). É uma ferramenta na qual são selecionados e analisados artigos, que auxiliam o entendimento do tema em cima de uma série de artigos encontrados, além de proporcionar a identificação do que está sendo publicado sobre o tema. O método organiza as etapas em um fluxograma (Figura 1).

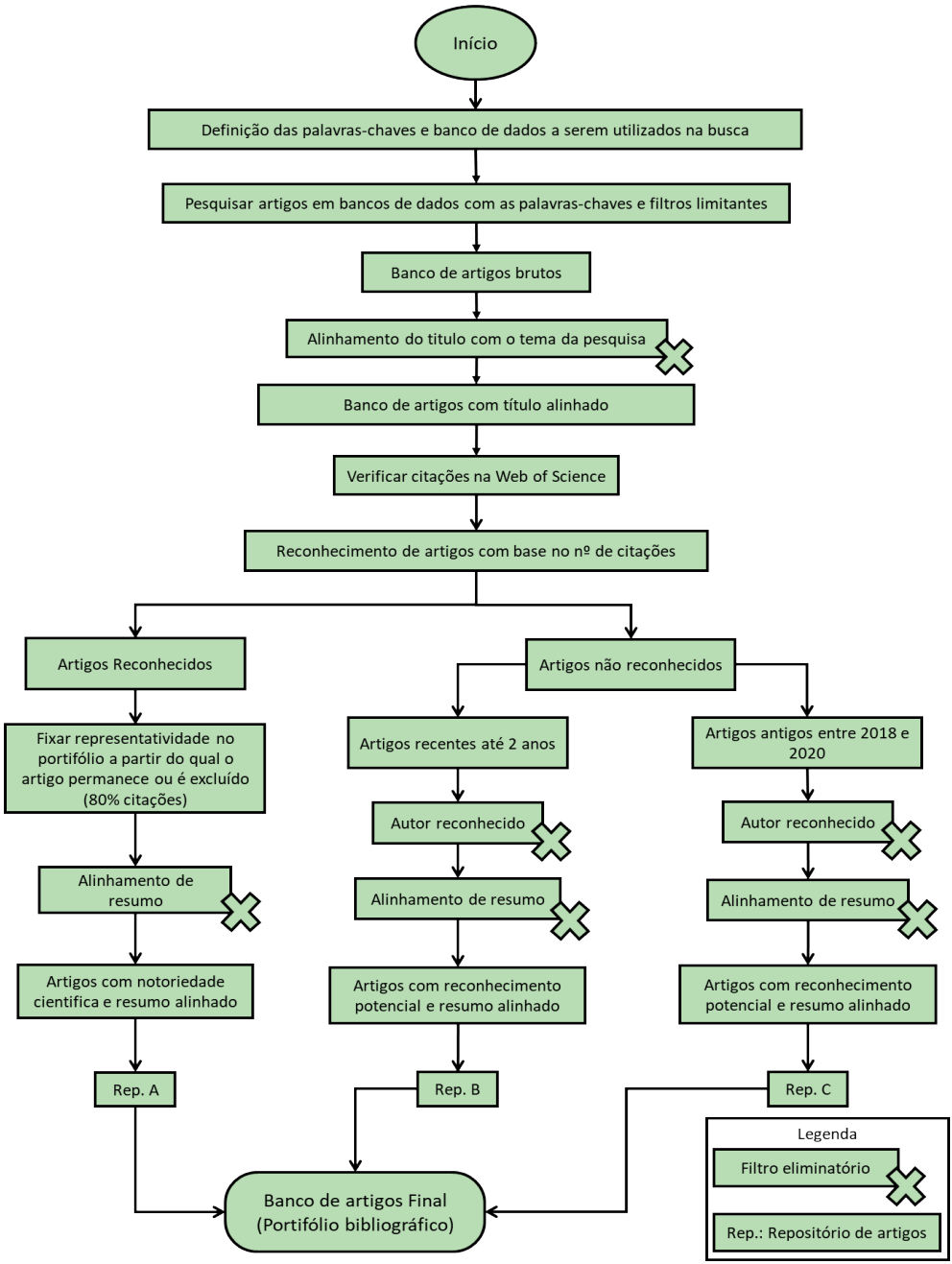


Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção do portfólio bibliográfico da metodologia ProKnow-C, sobre o uso de *Bacillus subtilis* na agricultura.

Fonte: Adaptado de Lacerda et al. (2012) e Carvalho et al. (2017).

Para verificar se os termos de buscas e os critérios estabelecidos estavam em concordância com a pesquisa proposta, foram selecionados 3 (três) artigos de forma aleatória.

Na filtragem por alinhamento do título, são filtrados apenas artigos que contenham uma das palavras-chave em seu título, assim, sendo eliminado os artigos com títulos não alinhados com o assunto da pesquisa.

O primeiro repositório foi formado pelos artigos com maior reconhecimento científico determinado pela quantidade de citações, selecionando uma representatividade de 80% (oitenta por cento) das citações nas pesquisas mais citadas, conforme Lacerda et al. (2012), Juran (1997) e Pareto (1896).

No segundo repositório foram apresentados os artigos recentes publicados em 2021 e 2022, estes não fazem parte dos artigos com maior representatividade, porém apresentam autores reconhecidos.

O terceiro repositório foi composto pelos artigos antigos publicados entre 2018 e 2020 e com autores reconhecidos.

No filtro por alinhamento de resumo, foram lidos o resumo dos artigos de cada repositório, e em seguida foram excluídos os que não estavam alinhados com o tema da pesquisa.

RESULTADO E DISCUSSÃO

O número de artigos obtidos na busca inicial no site da Web of Science foi de 1511, publicados em várias áreas de pesquisa. Com o alinhamento do título o número foi reduzido para 467, formando o banco de artigos brutos. Após a aplicação de todos os filtros foram selecionados 78 artigos (Tabela 1), constituindo o portfólio final deste estudo.

Repositórios	Número de artigos	Autor reconhecido	
		Resumo não alinhado	Resumo alinhado
A	137	109	28
B	228	196	32
C	102	84	18
Total de artigos	467	389	78

A - Artigos com notoriedade com base no número de citações; B - Artigos recentes publicados entre 2021 e 2022; C - Artigos antigos publicados entre 2018 e 2020.

Tabela 1- Número total de artigos que compõem o portfólio final sobre o uso de Bacillus subtillis na agricultura.

Observa-se que o repositório A possui 28 artigos, publicados entre 2018 e 2022. Estes apresentam o resumo alinhado a pesquisa e com maior representatividade, ou seja, com maior número de citações. O repositório B é formado por 32 artigos e são classificados como recentes, publicados entre 2021 e 2022, apresentam autores reconhecidos e o resumo alinhado ao tema da pesquisa, entretanto, ao contrário do repositório A, não são altamente citados. O repositório C, constitui os artigos antigos, publicados entre 2018 e 2021, com um total de 18 artigos. São artigos que não apresentam tanta representatividade como os artigos do repositório A, mas tem seus autores reconhecidos e resumo alinhado ao tema da pesquisa.

Pode-se observar também na tabela 1, que o grupo B apresenta um número superior em relação à quantidade de artigos publicados pelo grupo C. Isto é, no período de 2021 a 2022, foram disponibilizados 228 artigos, enquanto o período de 2018 a 2020, esta quantidade diminui para 102.

Na figura 2, o gráfico representa os países com o maior número de publicações entre os 78 artigos do portfólio final que apresentam resumo alinhado ao tema da pesquisa publicados entre 2018 e 2022. A China encontra-se na primeira posição do ranking, com 23 publicações sobre o uso de *B. subtilis* na agricultura, seguido dos EUA com 19 publicações. O Brasil ocupa a sétima posição, com 5 publicações.

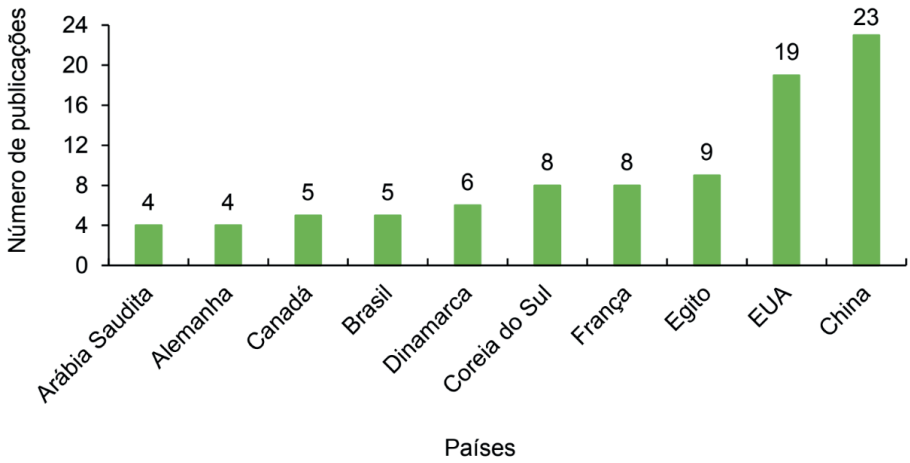


Figura 2 - Países com maior número de publicações entre os 78 artigos publicados entre 2018 e 2022 que formam o portfólio bibliográfico sobre o uso de *Bacillus subtilis* na agricultura.

A figura 3 representa a composição dos 467 artigos, do qual foi selecionado os artigos do portfólio final, mostra que a China é o País que mais realiza pesquisa com esse tema, com 118 publicações. Já o Brasil se encontra na terceira posição, mostrando que o país tem voltado cada vez mais suas pesquisas para este tema (Figura 3).

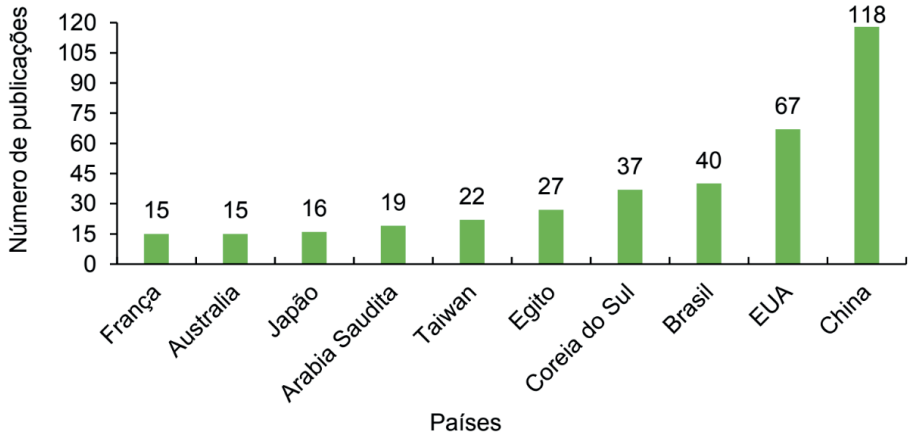


Figura 3 - Países com maior número de publicações entre os 467 artigos publicados entre 2018 e 2022 que formam o portfólio bibliográfico sobre o uso de *Bacillus subtilis* na agricultura.

A análise da relação do número de publicações com o número de citações por ano demonstrou aumento linear na circulação das citações (Figura 4). Isso se dá devido a linha representada na figura ser acumulativa, por isso os últimos anos apresentam um crescimento maior em relação aos anos anteriores. Todavia, no que diz respeito às publicações, o que se observa é uma queda brusca no ano de 2022 em relação à 2021.

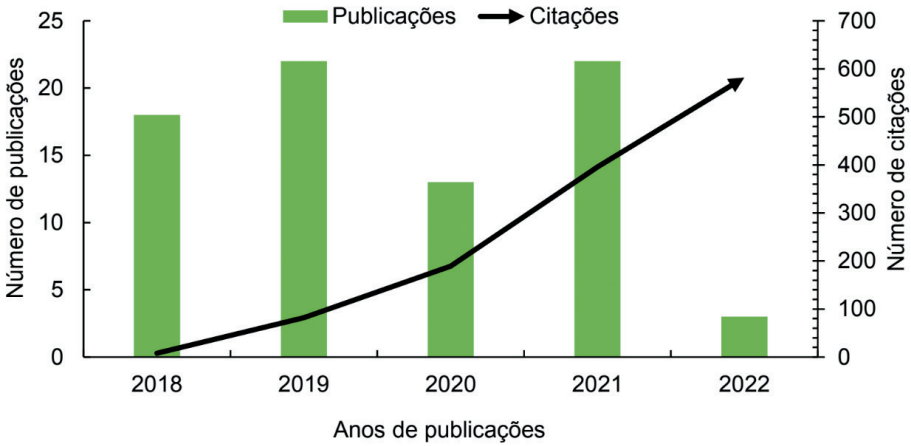


Figura 4 - Relação do número de publicações e citações entre os anos de 2018 e 2022, considerando os 78 artigos que compõem o portfólio bibliográfico sobre o uso de *Bacillus subtilis* na agricultura.

Outro ponto a ser verificado é o quantitativo de autores interessados no assunto, dentro do portfólio (Figura 5). Nota-se uma distribuição homogênea das publicações, indicando que a maioria dos autores com maior representatividade baseado no número de suas publicações, obtiveram quantidades semelhantes de publicação de artigos.

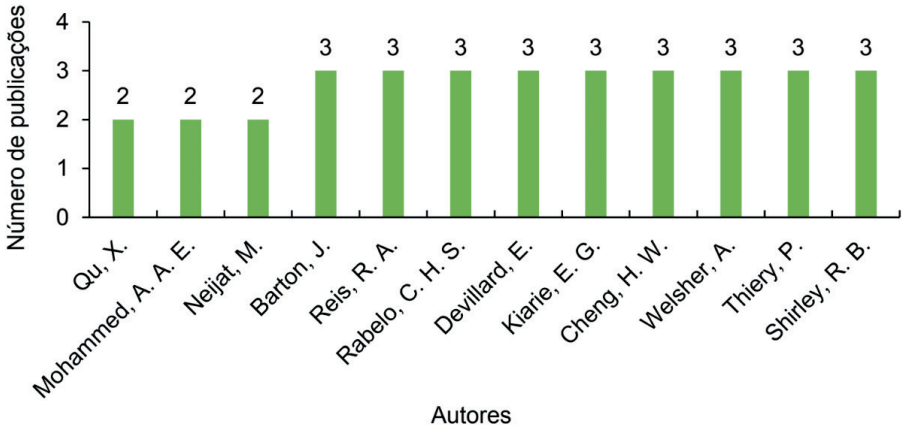


Figura 5 - Autores com maior número de publicações do portfólio bibliográfico sobre o uso de *Bacillus subtilis* na agricultura.

Na busca e análise da relevância científica observou-se que os artigos de Zhang et al. (2021) e Wang et al. (2018) apresentaram o maior número de citações, 54 e 77 citações, respectivamente. Já no outro extremo do gráfico, encontram-se também dois destaques, são os artigos de Oladokun et al. (2021) e de Chen et al. (2019), que apresentam menores números de citações (Figura 6).

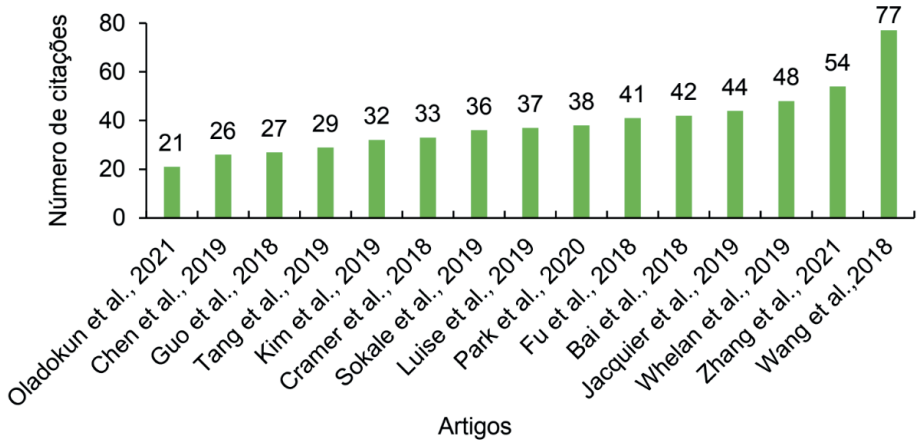


Figura 6 - Relevância dos artigos do portfólio bibliográfico sobre o uso de *Bacillus subtilis* na agricultura.

Assim, pode-se concluir que esses estudos realizados sobre o *Bacillus subtilis* mostram que essa bactéria vem ganhando destaque como tema de produções científicas ao longo dos anos e tem desempenhado funções relevantes na agricultura mundial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo obteve-se um portfólio de 78 artigos relevantes, de reconhecimento científico e alinhados com o tema da pesquisa. Dessa forma foi concluído que:

I. A China é o país que apresenta o maior número de publicações, já o Brasil ocupa a terceira posição;

II. 2019 e 2021 foram os períodos com maior número de publicações e 2022 com maior número de citações;

III. A maioria dos autores apresentaram quantidades semelhantes de publicações;

IV. O maior número de citações (77) foi observado na publicação de Wang et al. (2018).

REFERÊNCIAS

CARVALHO, G. D. G.; SOKULSKI, C. C.; SILVA, W. V.; CARVALHO; H. G.; MOURA, R. V.; DE FRANCISCO, A. C.; VEIGA, C. P. Bibliometrics and systematic reviews: A comparison between the ProKnow-C and the Methodi Ordinatio. **Journal of Informetrics**, v. 14, p. 101043, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101043.

CARVALHO, G. D. G.; CRUZ, J. A. W.; CARVALHO, H. G.; DUCLÓS, L. C.; DE STANKOWITZ, R. F. Innovativeness measures: A bibliometric review and a classification proposal. **International Journal of Innovation Science**, v. 9, p. 81-101, 2017. DOI: https://doi.org/10.1108/IJIS-10-2016-0038

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq/USP). **Pib do agronegócio brasileiro**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acessado em: 02 jun. 2023.

DUTRA, L. D. A.; QUEIROZ, J. V.; FURUKAVA, M.; COSTA, J. A. F.; SILVA, C. L. D. Intenção empreendedora e empreendedorismo acadêmico: uma análise bibliométrica no contexto da gestão universitária. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GESTÃO UNIVERSITÁRIA, 17, 2017, Mar del Plata, Argentina. **Artigos… Mar del Plata**/Argentina: 2017, 16p.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. O.; TASCA, J. E. **ProKnow-C, knowledge development process-constructivist.** Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**.** Brasil, v. 10, p. 2015, 2010.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto:** novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. São Paulo: Pioneira, 1997. 551p.

LACERDA, R. T. D. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, p. 59-78, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-530X2012000100005.

MARIANO, R.L.R.; KLOEPPER, J. W. Método alternativo de biocontrole: resistência sistêmica induzida por rizobactérias. **Revisão anual de patologia de plantas**, Passo Fundo, v. 8, p. 121-137, 2000.

MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Bioinsumos na cultura da soja.** Brasília. Embrapa Soja, 2022. 550p.

MONNERAT, R.; MONTALVÃO, S.; MARTINS, E.; QUEIROZ, P.; SILVA, E. Y. Y.; GARCIA, A., GOMES, A. **Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero Bacillus para uso na agricultura**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2020. 46p.

PARETO, V. **Cours d'**économie **politique: professé à l'Universjité de Lausanne**. F. Rouge, 1896.

RONCON, N. **A importância do setor agrícola para a economia brasileira.** 2011. TCC (graduação) -Fema, Assis, SP,2011.

SANTANA, M. S.; SANTANA, L. S.; SILVA, O. M. C.; XIMENES, L. M. A. S. Incidência de doenças fúngicas no maracujazeiro (Passiflora edulis sp.) em propriedades familiares no município de Alta Floresta - MT. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 15, p. 66-81, 2018.

SANTOS, F. L.; SILVA, F. B.; SÁ, E. L. S.; VIAN, A. L.; MUNIZ, A. W.; SANTOS, R. N. Inoculation and co-inoculation of growth promoting rhizobacteria in irrigated rice plants. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, p. 1-5, 2019. DOI: https://doi.org/10.5039/agraria.v14i3a5665.

SHAFI, J.; TIAN, H.; JI, M. Bacillus species as versatile weapons for plant pathogens: a review. **Biotechnology & Biotechnological Equipment, Abingdon**, v. 31, p. 446-459, 2017. DOI: https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950.

TASCA, J. E.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. A avaliação de programas de capacitação: um estudo de caso na administração pública. **Revista de Administração Pública**, v. 46, p. 647-675, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0034-76122012000300002.

PESTICIDE BEHAVIOR IN AGRICULTURAL SOILS WITH SPECIAL REFERENCE TO THE TROPICAL REGION

Data de aceite: 01/04/2024

Claudio Aparecido Spadotto
Embrapa Digital Agriculture
Campinas - São Paulo - Brazil
http://lattes.cnpq.br/3404384601903230
https://orcid.org/0000-0001-5713-1261

Eliana Freire Gaspar de Carvalho Dores
Federal University of Mato Grosso,
Graduate Program on Water Resources
Cuiabá – Mato Grosso - Brazil
http://lattes.cnpq.br/4094572237082106
https://orcid.org/0000-0001-5175-3537

Rafael Mingoti
Embrapa Territorial
Campinas - São Paulo - Brazil
http://lattes.cnpq.br/3479283038505977
https://orcid.org/0000-0003-4873-7565

ABSTRACT: Agriculture areas in the tropical region has high occurrence of pests that requires more intense control practices, usually by using pesticides, and soil and water contamination is an increasing problem in the tropics. Once applied in the field, the pesticides undergo several processes of retention (sorption), biotic and abiotic transformation and transport. The behavior of pesticides in tropical soils and climates conditions is differentiated from other regions. Some specific weather conditions and soil characteristics can be important drivers of distinct pesticide behavior patterns in the tropics. Hence, brief descriptions of the climates and soils in the tropics are presented as a starting point. Considerations on climate change particularly in the tropics and its effects on soils are also presented. Properties and conditions of unsaturated zone of the soil, especially in the top layer, have both direct and indirect effects on the fate of pesticides that are applied to the soil or reach the soil after application and significantly affect the environmental fate of pesticides. Some combinations of predominant soils in the tropics with specific tropical climates, together with distinct agricultural practices, can involve unique sets of characteristics. The warmer climates, more variable rainfall, main soil types, and distinct biota that characterize most tropical locations imply the behavior, fate and effects of pesticides may be different from those in temperate locations. If the onsite behavior and offsite losses of pesticides from an agricultural area is to be understood, soil sorption and degradation, volatilization, surface runoff and leaching data for relevant tropical conditions are required, considering the soil moisture

and temperature, organic matter content and composition, and previous pesticide application practices. This is an important challenge in agricultural and environmental sciences.
KEYWORDS: tropics, climate, soil, agriculture, environment, contamination.

COMPORTAMENTO AMBIENTAL DE PESTICIDAS EM SOLOS AGRÍCOLAS COM REFERÊNCIA ESPECIAL À REGIÃO TROPICAL

RESUMO: Áreas agrícolas na região tropical apresentam alta ocorrência de pragas que requerem controle mais intenso, geralmente com uso de pesticidas, e a contaminação do solo e da água é um problema crescente nos trópicos. Uma vez aplicados no campo, os agrotóxicos passam por diversos processos de retenção (sorção), transformação biótica e abiótica e transporte. O comportamento dos agrotóxicos em condições de solos e climas tropicais é diferenciado de outras regiões. Algumas condições climáticas específicas e características do solo podem ser importantes fatores que levam a padrões distintos de comportamento dos pesticidas nos trópicos. Assim, breves descrições dos climas e solos nos trópicos são apresentadas como ponto de partida. Considerações sobre as mudanças climáticas, especialmente nos trópicos, e os seus efeitos nos solos também são apresentadas. As propriedades e condições da zona não saturada do solo, especialmente na camada superior, têm efeitos diretos e indiretos no destino dos pesticidas que são aplicados ao solo ou que chegam ao solo após a aplicação e afetam significativamente o destino ambiental dos pesticidas. Algumas combinações de solos predominantes nos trópicos com climas tropicais específicos, juntamente com práticas agrícolas distintas, podem envolver conjuntos únicos de características. Os climas mais quentes, a maior variabilidade das chuvas, os principais tipos de solos e a biota distinta que caracterizam a maioria dos locais tropicais implicam que o comportamento, o destino e os efeitos dos pesticidas podem ser diferentes daqueles observados em locais de clima temperado. Para compreender o comportamento na área agrícola e as perdas externas de pesticidas, são necessários dados sobre a sorção e a degradação no solo, a volatilização, o escoamento superficial e a lixiviação em condições tropicais relevantes, considerando a umidade e a temperatura do solo, o teor e a composição de matéria orgânica e as práticas anteriores de aplicação de pesticidas. Esse é um importante desafio nas ciências agrícolas e ambientais.
PALAVRAS-CHAVE: trópicos, clima, solo, agricultura, meio ambiente, contaminação.

INTRODUCTION

Agriculture fulfilled in the tropical region of the globe has a greater occurrence of pests that requires more intense control practices, usually by using more pesticides than in temperate regions. Countries in the tropics, most of them developing countries, are great food producers and use pesticides extensively. The Food and Agriculture Organization statistics (FAO, n.d.) reports a world consumption of 4,122,334 t of active ingredients of pesticides in 2018, with Asia as the greatest consumer (2,161,869 t) and South America in second (719,183 t). Brazil is the country with the largest land area in the tropics (Juo & Franzluebbers, 2003) and used 377,176 t of pesticides in 2018. Despite being the continent with the largest tropical area, Africa consumed much less (82,851 t) in 2018.

Soil and water contamination with pesticides is an increasing problem in the tropics (Carvalho, 2017). Several studies have reported the presence of pesticides in water bodies in the tropics (e.g., Adeyemi et al., 2011; Chowdhury et al., 2012; Kafle et al., 2015; Deknock et al., 2019; Elfikrie et al., 2020; Nag et al., 2020; Bhuiyan et al., 2021). Albuquerque et al. (2016) provided a comprehensive literature review on the occurrence of pesticide residues in Brazilian freshwaters. A review regarding pesticides in groundwater in tropical regions was recently presented by Dores et al. (2023). In the tropics, information on pesticide contamination of soil is often inadequate (Yadav et al., 2015). Tan et al. (2020) reported contamination of agricultural topsoil from tropical riverside basins at detectable levels during several months. As mentioned by Correia et al. (2007), there have been relatively few reports on the behavior of pesticides especially in soils from the humid tropics.

Once applied in the field, the pesticides undergo several processes of retention (sorption), biotic and abiotic transformation and transport. The behavior of pesticides in tropical (soils and climates) conditions is differentiated from other regions, which has been evidenced in sorption, degradation, and transport studies.

CLIMATES AND SOILS IN THE TROPICAL REGION

The latitudinal definition (geographical delimitation/statement) of the tropical region is inexact at the boundaries because changes in climate conditions and soil types are gradual. Thus, there is no true dividing line between tropical and temperate zones, and intermediate areas are often referred to as subtropical.

Besides the inexact geographical delimitation of the tropical region, according to the purpose of this chapter, descriptions of the climates and soils in the tropics are summarized. Additional information can be found in Spadotto and Mingoti (2023).

Climate and natural vegetation in the tropics are closely related and the main classification systems of tropical climates in use employ vegetation names for the different climatic regions. Most of the tropics are not covered by rainforests, as commonly assumed. Savannas are the most extensive type of tropical vegetation.

Most approaches that have been used to classify climates in the tropics are based on the original classification of Köppen (1936), updated by Troll (1965) and Kotteck et al. (2006). Rainy climates (Af, Am), seasonal climates (Aw), dry climates (Bsh), and deserts (BW), are the main tropical climates and are based on the length of the rainy seasons – **Table 1**. Such climates occur at almost all elevations in the tropics.

Climate (Köppen-Geiger Classification)	Main Characteristics	Climate Zone	Proportion of the Tropical Region
Tropical, savanna climate (Aw)	Seasonal with dry winter	Subhumid tropics	49%
Tropical, rainforest climate (Af) Tropical, monsoon climate (Am)	Wet without dry season Wet with monsoonal changes	Humid tropics	24%
Arid, steppe, hot climate (BSh)	Hot and semiarid	Semiarid tropics	16%
Arid, desert, hot climate (BWh)	Hot and arid	Arid tropics	11%

Table 1 – Major climates in the tropical region.

According to Köppen (1936), Kottek et al. (2006), Peel et al. (2007), Beck et al. (2018), and Sanchez (2019).

It is worth mentioning that the climate is changing in the tropics, as it is in the rest of the world (IPCC, 2013), despite the less obvious changes, because of the considerable natural variability (Corlett, 2014). According to IPCC (2013), it is estimated that temperature extremes, droughts and floods will increase in much of the tropical region. Climate change is a statistically significant alteration of the climate variables in terms of their distribution both in time (amount and intensity) and in space, as well as in their intrinsic variability in a significantly broad framework of time (Oliveira et al., 2007).

The tropics are projected to warm over the coming 50 to 100 years (IPCC 2013), however most model projections indicate that warming trends over the tropics will be smaller than those for the globe as a whole (Trewin, 2014). Trends in rainfall are less clear than those in temperature and there is low confidence in projected changes in annual rainfall over most of the tropics (Trewin, 2014). Many tropical areas are now significantly wetter or drier than they were a century ago, and others show marked fluctuations (Corlett, 2014).

Studies on climate change have demonstrated impacts in tropical regions which are likely to be disproportionately affected and some regions which currently border the equatorial zone may experience an increase in extreme rainfall (Isaac and Turton, 2014). It is noteworthy that there are evidences from long-term meteorological measurements that the tropical and subtropical zones are expanding poleward in both hemispheres (Seidel et al., 2008; IPCC, 2013; Isaac & Turton, 2014; Lucas et al., 2014).

Major **soils** in the humid and subhumid tropics are mineral soils conditioned by wet climates (Driessen et al., 2001). The most extensive soils in the tropics, classified by the Soil Taxonomy system (Soil Survey Staff, 1999; 2014), are: Oxisols, Ultisols, Inceptisols, Entisols, Alfisols, Aridisols, and Vertisols – **Table 2**. Soils in these orders occupy around 97% of the tropical land area.

Soil Taxonomy Order	Proportion of the Tropical Land Area
Oxisols	24.8%
Ultisols	19.6%
Inceptisols	15.7%
Entisols	15.6%
Alfisols	12.4%
Aridisols	4.8%
Vertisols	3.9%
Other soils	3.2%

Table 2 – Main soil orders in the tropical region, classified by the Soil Taxonomy system.

Adapted from Buol et al. (2011) and Sanchez (2019), based on Soil Survey Staff (1999; 2014). Tropical region: 0° – 23°28' of latitude.

In Brazil, the main soils in the humid and subhumid tropical regions (respectively, Amazonia and Cerrado biomes) are Latossolos, according to the Brazilian Soil Classification System (Santos et al., 2018), that are equivalent to the Oxisols (except Aquox) in the Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999, 2014).

One limitation of natural soil classification systems is that they quantify only inherent properties, most of them located in the subsoil (Sanchez, 2019). Inherent properties are related to soil formation, resulting from the interaction of parent materials and biotic activities, and are modified by topography and climatic conditions over a long period of time.

Many important soil properties concerning pesticide environmental behavior processes, which occur mostly in the topsoil, are not considered in natural soil classification systems. Relatively short-term weather conditions and soil management practices change the physical, chemical, and biological properties of soils, mainly in the surface layer, as illustrated in **Figure 1**.

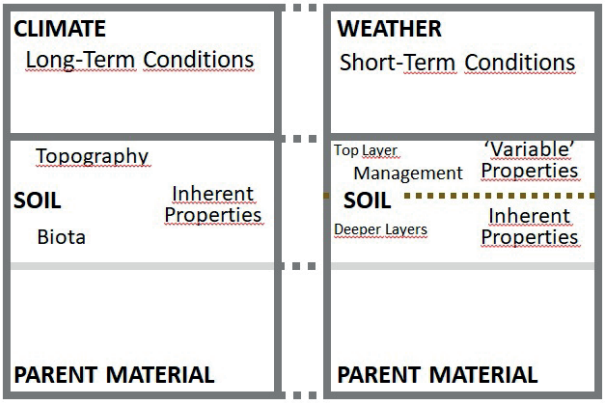


Figure 1 – Determinants of soil properties in the long term (soil formation) and in the relatively short term (agricultural areas).

Some properties of clayey Oxisols associated with pesticide behavior under natural conditions and in the upper soil layer in rainfed crop areas with conventional tillage in the subhumid tropics are presented in **Table 3**.

Properties[1] of Clayey Oxisols in the Subhumid Tropics	
Soil under Natural Conditions (fairly uniform in the profile)	**Upper Soil Layer in Rainfed Crop Areas with Conventional Tillage[2]**
Strong granular structure	Poor structure due to tillage, liming and reduced soil organic matter (SOM)
Moderate to high hydraulic conductivity	Lower hydraulic conductivity caused by loss of structure
Interconnected macroporosity (for preferential flow)	Reduced and non-connected macroporosity because of structure breakdown
Acidity; low pH (< 5.5)	Adjusted higher (slightly acid) pH by liming
Low cation exchange capacity (CEC)	Higher CEC owing to liming
Some anion exchange capacity (AEC), mainly in subsoil	Low AEC due to liming
Moderate to high SOM	Generally low SOM (depends on fertilizing and organic material addition)
Moderate to small seasonal and daily variation of temperature	Broader variation at higher temperatures, mainly in bare soil
High seasonal variation of moisture (3–6 months/ year with dry soil)	High seasonal moisture variation (less in irrigated areas)
Moderate to low daily variation of moisture	Wider daily variation of moisture (less in irrigated areas)

[1]Soil properties associated with pesticide behavior. [2]Properties affected by agricultural practices.
Prepared by the authors.

Table 3 – Examples of properties of clayey Oxisols, under natural conditions and in the upper soil layer, in rainfed crop areas with conventional tillage in the subhumid tropics (tropical, savanna climate - Aw).

The effects of climate change on soils are expected mainly through alteration in soil moisture conditions and increase in soil temperature and CO_2 levels and this is projected to have variable effects on soil processes and properties (Pareek, 2017). Soils have diverse biotic and abiotic properties and it is difficult to generalize the impact of climate change on soil conditions.

As highlighted by Brevik (2012), soils are intricately linked to the atmospheric–climate system and altered climate affects soil processes and properties, and soils, in turn, have effects on climate. According to Brevik (2012), study of the effects of climate change on soil processes and properties has shown that climate change will impact soil organic matter dynamics, including soil organisms and multiple soil properties that are tied to organic matter, soil water, and soil erosion.

PESTICIDE BEHAVIOR IN SOILS IN TROPICAL ENVIRONMENTS

Besides the depth of soil saturated zone (water table depth), properties and conditions of unsaturated zone of the soil, especially in the top layer, at times referred as root zone, are important to mediate the behavior and fate of pesticides.

Environmental pesticide behavior and fate are governed by various processes and differences in pesticide properties and in soil attributes, as well as in weather conditions affect these processes. As commented by Racke et al. (1997), researchers deal with the high variability of these processes, which results from the complex set of interactions involved.

The behavior of pesticides in tropical environments is not as well understood as that for temperate regions, despite considerable increasing in research done on their fate (and effects) in tropical areas over the past decades. Some specific weather conditions, soil characteristics and cropping systems can be important drivers of distinct pesticide behavior patterns in the tropics.

The soil filtration function is an important ecosystem service for the protection of groundwater and surface water (Keesstra et al., 2012). Soils act as a natural filter, where the processes of retention, degradation and movement of pesticides occur – **Figure 2**. Thus, soils have a marked influence on the degree of vulnerability of groundwater bodies to contamination (Racke et al., 1997; Futch & Singh, 1999).

An extensive literature review on pesticide fate in tropical soils was presented by Racke et al. (1997). A year later, Kookana et al. (1998) also provided an important review on pesticide fate and behavior in relation to contamination and management of soil and water in Australia, most of them in tropical weather conditions. This text was prepared based on findings presented in these two reviews, as starting point, along with studies published after them. Only a few works cited in both reviews were directly accessed to prepare this chapter.

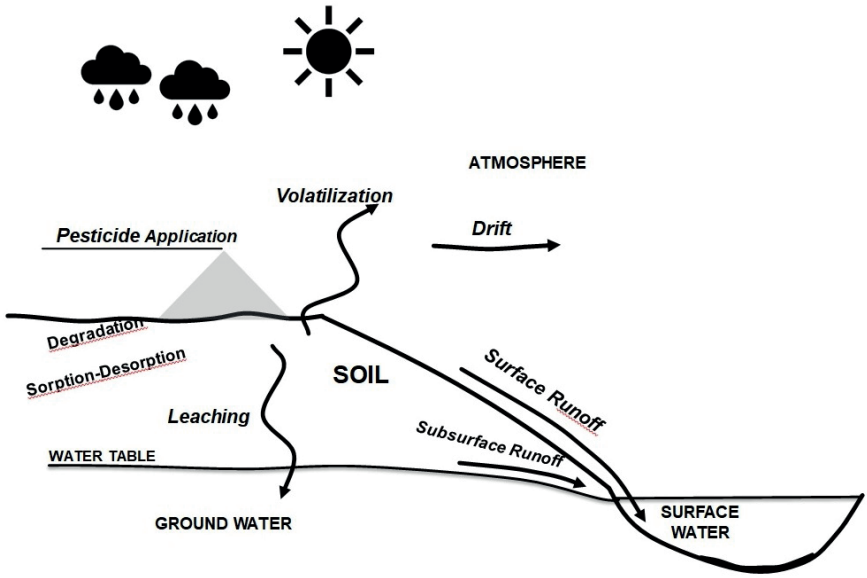


Figure 2 – Representation of the main behavior processes of pesticides in soils.

According to Racke et al. (1997), tropical soils cannot necessarily be classified as a distinct entity with a unique set of properties, since soils in any single continent, territory, or region may vary significantly. The authors pointed out that the quantity and quality of information on the fate of pesticides in tropical soils and under tropical conditions is somewhat limited and that there are no inherent differences in pesticide fate due to soil properties uniquely possessed by tropical soils. However, as it can be seen in this chapter, some combinations of predominant soils in the tropics, remarkably Oxisols (Ferralsols), with specific tropical climates, that is humid and subhumid weather conditions, together with distinct agricultural practices, can imply unique sets of characteristics.

More recently, Lewis et al. (2016) published an overview of the state of knowledge on pesticide in the tropics. As pointed out in that overview and in other publications, it is well recognized in the literature that the behavior, fate, and effects of pesticides in tropical environments are considerably less understood than for temperate regions and represent a notable research need. According to Kookana and Simpson (2000), while much data is available for temperate region soils, information on pesticide interactions in tropical soils is limited and, given the different soil-weather conditions, directly transferring data from the temperate region may not be appropriate for pesticide management in the tropics.

As pointed out by Langenbach et al. (2001), soil properties (such as, low water-holding capacity and low organic matter content) in the tropics and some tropical climate conditions (e.g., uneven rain distribution and intensity and small seasonal temperature variation) may affect the rates of biodegradation, volatilization, accumulation and transport

of pesticides in soils. The warmer climates, more variable rainfall, predominant soil types, and distinct biota that characterize most tropical locations imply the behavior, fate and effects of pesticides may be different from those in temperate locations (Lewis et al., 2016).

In the Southeastern region of Brazil, as mentioned by Correia et al. (2007), the average temperature variation during the year is small (about 7^{0}C), however rainfall rates change remarkably between 20 mm (in the winter) to 300 mm (in the summer) a month. In that region, pesticides are more intensively applied in the spring season, in the main crop planting period, which occurs at the same time with high rainfall and high temperatures. Application at this period results in increased pesticide transport downward the soil, on the soil and from the soil surface to the atmosphere. In the summer, rains are torrential, resulting in surface runoff when soil infiltration capacity is exceeded, resulting in considerable soil erosion and pesticide transport.

As mentioned by Laabs et al. (2002a), relatively few data were reported on pesticide fate under the specific climatic and pedological conditions in the tropics. Nevertheless, some conclusions can be drawn, as those summarized by Lewis et al. (2016), that is, pesticides are dissipated via volatilization (into atmosphere), surface runoff (overland water flow), soil erosion (terrain soil transport), and leaching (downward the soil), that likely would be influenced by tropical conditions.

As pointed out by Hornsby and Brown (1992), soil properties and conditions significantly affect the environmental fate of pesticides. The authors highlighted that soil properties have both direct and indirect effects on the fate of pesticides that are applied to the soil or reach the soil after application. Retention (sorption) and transformation (degradation) processes may be affected by soil properties and conditions. Amount and intensity of rainfall, terrain slope, and management practices adopted in agricultural areas also affect the behavior of pesticides in the environment. It is noteworthy that the amount of pesticide used is especially important when assessing the environmental risk of pesticides.

Pesticide transport from agricultural soils to surface waters can be via overland runoff, soil erosion, lateral subsurface flow, and drainage. Among these routes, surface runoff and soil erosion generated by rainfall events and irrigation have attracted the most attention.

Surface runoff occurs by water flowing on land surface when both soil infiltration and surface storage capacities are exceeded by precipitation and irrigation or when the water table rises to the soil surface and water is unable to infiltrate due to saturation conditions (Campling et al., 2002; Bonell, 2005; Garen & Moore, 2005; Reichenberger et al., 2007; Scherrer et al., 2007; Li & Sivapalan, 2014; Li et al., 2014). Water flowing over the land carries dissolved substances and suspended soil particles.

Depending on soil conservation practices, the fate of surface runoff (flowing water with dissolved substances and suspended particles) is a lake, pond, stream or river, what can lead to the contamination of water and sediment. The primary transport routes

for pesticides, particularly to small surface water bodies in non-irrigation agriculture, are surface runoff and drainage induced by heavy precipitation events (Leu et al., 2004; Lorenz et al., 2017).

Surface runoff is a route that rapidly changes the mass balance of the pesticide in the soil in cases where the application is carried out just before a rain of medium to high intensity. In cases when the initial rainfall infiltrates, this was predicted to lead to reduced offsite movement of pesticides. Conversely, in cases when runoff starts soon after rainfall, as would occur when soil is already wet or crusted, then the washed off pesticides would be present in runoff. This highlights that the timing of pesticide applications away from extreme rainfall events will be important in reducing offsite movement.

Studies have reported contradictory results on the effects of conservation tillage practices reducing surface runoff of pesticides, and this could be due to the combined effects of weather and soil conditions, together with physico-chemical properties of pesticides (Reddy et al., 1995; Holland, 2004; Knowler & Bradshaw, 2007). The effect of tillage practices on sorption of pesticides could play a significant role in determining the effects of land management on their mobility in the environment (Ochsner et al., 2006).

Soil erosion by overland water flow starts by detachment of soil particles, caused by raindrop impact and also by the abrasive power of water running off, and then detached particles are transported downslope. Along with surface runoff, soil erosion by water flowing on the land can promptly change the mass of pesticides in upper layers of soils. Erosion by water is larger in fine-sandy and silty soils. Studies had recognized that soil erosion is a function of rainfall intensity rather than of total annual rainfall (e.g., Müller et al., 2004; Douglas & Guyot, 2005; Brown et al., 2009; Payraudeau et al., 2011; Defersha & Melesse, 2012). It is noteworthy that pesticides sorbed on soil particles can also be removed by wind erosion.

During surface runoff and erosion events pesticides are carried off dissolved in water and sorbed to soil particles. The relation between both transport pathways depends amongst others on the physico-chemical and environmental properties of the pesticide (Reichenberger et al., 2007).

Studies have been published on pesticide transport by surface runoff and soil erosion (e.g., Lecomte et al., 2001; Louchart et al., 2001; Silburn, 2003; Syversen, 2005; Berenzen et al., 2005; Vianello et al., 2005; Silburn & Kennedy, 2007; Locke et al., 2008; Lefrancq et al., 2013; Barbosa et al., 2016; Elias et al., 2018; Trovato et al., 2020; Vaz et al., 2021; Silburn, 2023). Heavy and frequent rainfalls in tropical regions enhance pesticides losses by surface water runoff and soil erosion and consequent contamination in surface water bodies (water and sediment contamination).

Research findings on overland flow and soil erosion, comparing no-tillage with conventional tillage, are inconsistent. Results from a global literature review, carried out by Mhazo et al. (2016), using meta-analysis, indicated that no-tillage has greater potential

to reduce runoff and soil losses in temperate regions where soils are relatively young, moderately weathered and fragile compared to the heavily weathered clayey tropical soils that are well aggregated and less erodible.

Leaching, as the straight pathway for ground water contamination, is a function of water flow as well as pesticide sorption and degradation mechanisms. However, ground water and surface water are a fully connected resource responding to changes in hydrologic conditions and exchange of them occurs at multiple scales, rates and time frames, what is clearly supported by scientific literature, as pointed out by Woessner (2020). Understanding the transport of pesticides through soils is essential in assessing water quality impacts of pesticide use (Hornsby & Brown, 1992).

Pesticide leaching downward the soil occurs mainly driven by the mass flow of water. Thus, in the leaching process, chemicals are mainly taken in solution together with the water that percolates in soil and feeds aquifers. Sorption of pesticides delays their movement through the soil, whereas abiotic and biotic degradation processes in the soil biomass reduce the mass of pesticides in the leachate (Hornsby & Brown, 1992). Leaching is a function of many factors including pesticide properties, soil attributes (e.g., organic carbon content, hydraulic conductivity), weather conditions (e.g., temperature regime, rainfall and groundwater recharge rate), as well as terrain slope, depth to groundwater.

Leaching can be classified as matrix or preferential transport, depending on the water flow type. Matrix transport of pesticides occurs in soils with uniform water flow conditions. In soils with large pores and well-drained it can be assumed that pesticide transport occurs mainly by advection, where the mass of solute (pesticide) is concentrated at a specific point in the water column and not dispersed in the soil profile ('piston flow' type). This transport process is predominantly vertical, with some retardation in relation to water that percolates in soil. In cases where soil does not have good porosity and it is excessively compacted or even unstructured, transport of the solute by diffusion and dispersion becomes important.

In the nonuniform water vertical flow condition, the solute (pesticide) movement is referred to as preferential transport. The preferential (or rapid) transport of pesticides in soil has been observed and its importance has been highlighted in several works (e.g., Flury et al., 1994; Lennartz et al., 1999; McGarry et al., 2000; Laabs et al., 2002a; Reichenberger et al., 2002; Scorza Jr. & Boesten, 2005; Dores et al., 2009; 2016).

In some soil and weather combinations in the tropics, leaching of pesticides can be enhanced by preferential transport and consequent contamination in ground water can occur. As highlighted by Laabs et al. (2002a) and Sanchez-Bayo and Hyne (2011), greater leaching under conditions of high rainfall plays an important role in the overall behavior of pesticides in tropical agricultural areas. However, Sanchez-Bayo and Hyne (2011) noted that data on medium to long-term leaching of pesticides in representative soils of the tropics are lacking in the literature for most compounds.

Macropores in structured soils, as well as cracks and biopores (such as termite burrows), can lead to preferential flow and facilitate leaching of pesticides to ground water and studies has suggested that is especially relevant in tropical soils (e.g., McGarry et al., 2000; Reichenberger et al., 2002). According to Chai (2008), the presence of macropores, which occur amply in humid tropical soils, may induce preferential flows and this may cause leaching of most pesticides without regard for their sorption properties.

Correia et al. (2010) presented results that showed no correlation between tropical soil permeability and herbicide leaching. According to the authors, higher permeability in no-tillage and natural soils than in the conventional tillage indicated that leaching occurs predominantly by preferential flow through macropores, which are destroyed in the top soil by tilling in the conventional tillage. The leaching under continuous flow, representing intense rainfall, was higher under no-tillage than in the conventional tillage, opposite to reports in literature of field experiments with intermittent rain. Thus, pesticide leaching is not only determined by the soil management practices but also by the intensive rainfall conditions in the tropics.

Pesticide behavior and fate in the environment are influenced by rainfall distribution and intensity, especially in some tropical conditions, where extreme rainfall events and/or very dry seasons occur frequently (Gentil et al., 2020). As mentioned by Sanchez-Bayo and Hyne (2011), extreme rainfall can cause high leaching, resulting in more pesticide moving toward ground water. Episodes of torrential rainfall in some tropical areas and intensive irrigation practices have often been associated with increased transport of soil contaminants to ground water by leaching (Daam et al., 2019).

Langenbach et al. (2001) studied the behavior of an herbicide in Brazilian soils in closed aerated laboratory microcosms, under standardized conditions (air temperature, relative air humidity, precipitation) and under natural tropical climatic conditions. As reported, leaching was higher in sandy soil than in clay soil and in organic soil. Under natural Brazilian summer conditions, leaching was enhanced as compared to standardized conditions comprising lower rainfall rates.

The most important mechanism affecting the matrix transport of pesticides through the soil profile is sorption-desorption balance because it controls the amount of pesticide available for degradation and transport (Koskinen et al., 2002; Rice et al., 2007). Partition between solid and liquid phases determines the proportion of pesticide in solution and sorbed to soil particles, and together with degradation determine the persistence and leaching of the pesticide in soil profile.

Sorption is, in fact, very important in the overall behavior of pesticides in the environment. Retention in solid phase tends to limit bioavailability and biodegradation of pesticides and volatilization can also be influenced by sorption. Thus, interactions of pesticides with soil components determine their mobility and persistence, with agronomic and environmental implications.

As summarized by Hornsby and Brown (1992), retention of pesticides in soils has been described by sorption into organic matter and on mineral fraction of soils, by means of partitioning processes as such hydrophobic interactions, ion exchange, and physical adsorption. Studies have highlighted the influence of dissolved organic matter on sorption and leaching [mobility] of pesticides (Li et al., 2005; Cox et al., 2007; Jiang et al., 2008; Song et al., 2008).

Pesticides belong to different classes of chemicals and several soil properties affect the mechanism and degree of sorption. The various types of interactions with soil colloids are complex; however the predominance of sorption of organic nonionic compounds into soil organic matter has been extensively documented. However, there are pesticides that are ionizable, thus a factor that has an important influence on sorption and, consequently, on leaching of these compounds is soil pH, as mentioned more recently by Kah and Brown (2006), van der Linden et al. (2009), Klein (2011), van den Berg et al. (2016), and Spadotto et al (2020).

Some evidence has been gathered that in addition to affecting rates of degradation, temperature can also modulate leaching behavior (Racke et al., 1997). Soil temperature changes with depth and there are variation differences between tilled and untilled soils. Soil temperatures in the tropics, as defined in the Soil Taxonomy system (Soil Survey Staff, 1999; 2014), fall in the 'iso' temperature regimes, that is, those with "less than 6°C difference between the average soil temperature of June–August and the average soil temperature of December–February at 50 cm depth or to a dense, lithic or paralithic contact". Thus, this definition does not take into consideration the topsoil temperature variation. As pointed out by Sanchez (2019), very high soil temperatures have been registered on the surface of bare soils during dry periods.

Based on Hornsby and Brown (1992), following are some considerations regarding soil parameters affecting pesticide retention and consequently transport, particularly leaching:

- Organic matter content of soil is a factor in determining the amount of pesticide sorbed, the greater the organic matter content the greater the amount of pesticide that can be sorbed.

- Soil mineral surfaces are also responsible for pesticide sorption, i.e., adsorption (high-energy bonding: ion exchange and ligand exchange; and low-energy bonding: hydrogen bonding, charge transfer, charge-dipole and dipole-dipole bonding, and London-van der Walls forces). In soils with chelated transition metals on clays and humic acids, some pesticides may be bound by ligand exchange, a high-energy bonding mechanism.

- Soils with high specific surface areas exhibit greater physical adsorption than those with low specific surface areas. The specific surface area of soil colloids is related to the degree to which adsorption by low-energy bonding mechanisms contribute to pesticide retention.

- Soil colloids, including both clays and organic matter, with charged surface sites interact with ionic pesticides. Most soils contain clay minerals with net negative surface charges providing exchange sites for cationic pesticide (e.g., herbicides paraquat and diquat). Some soils such as Oxisols contain metal oxides that exhibit positive charge, thus providing exchange sites for anionic pesticides. Ion exchange capacity of the soil is an important soil parameter affecting the fate of ionic or ionizable pesticides in soil

- Soil reaction (pH) might have a dual role. The amount of ionizable pesticide sorbed would depend on soil pH and chemical dissociation tendency (expressed as pKa or pKb). Ionizable pesticides may be in molecular form in certain soil pH ranges and ionic form in other soil pH ranges.

- In some soils, during biodegradation some fraction of the pesticide becomes "bound residue" that cannot be extracted by conventional extraction methods. The form and bioactivity of the bound residues are not widely known.

- Soil water content affects sorption at certain relative humidity levels of water-unsaturated soils.

- Temperature mediates the rate of the sorptive processes in soils and limits the amount of sorption.

Besides leaching, surface runoff, soil erosion, and plant uptake, a main dissipation process of pesticides from the top soil (root zone, for example) in the application site is volatilization into the atmosphere.

Volatilization as used here refers to the evaporation of pesticide from soil and its subsequent loss to the atmosphere. Pesticides can also volatilize during application or afterward from plant canopy and from surface water bodies.

Vapor drift is the movement of pesticides as gaseous vapor from the application site. Thus, the volatilized pesticide is transported into the atmosphere and sometimes is deposited in long distances from the treated site. Pesticide may volatilize again and may be transported further via the atmosphere (van Jaarsveld & van Pul, 1999). Several factors are cited in the literature as important in the emission and transport of pesticides into the atmosphere and deposition in adjacent areas of application sites.

Racke et al. (1997) reported the following summarized results from several studies on pesticide loss through volatilization:

- Volatilization from the surface of soil is influenced by physico-chemical properties of the chemical, method of application, properties of the soil (e.g., temperature, moisture), and weather conditions.

- A major physical parameter influencing loss through volatilization is the vapor pressure of the chemical, which is temperature dependent.

- The rate of volatilization increased with air flow and temperature, as well as, with the inherent vapor pressure and concentration of the chemical.

- Volatilization from the soil increases with increasing temperature and relative humidity, with humidity having greater impact on volatilization at higher temperatures.

- The major influence on volatilization is due to weather (meteorological) variables, such as temperature, soil moisture, relative humidity (insofar as it influences soil moisture), and wind turbulence.

Gentil et al. (2020) noted that, even if vapor pressure is an intrinsic chemical characteristic, higher temperature enhances the ability of a pesticide to turn into vapor and volatilize into the air. Shunthirasingham et al. (2010), for example, estimated an increase in volatilization rates of pesticides by a factor of 3–4 for a 10°C increase in soil temperature.

The high air temperature associated with the high soil moisture levels can enhance volatilization of pesticides (Rice et al., 2002). Shunthirasingham et al. (2010) also stated that higher soil humidity has been associated with faster pesticide volatilization and that, when soils become wet after a period of drought, pesticides are lost from the soils through rapid volatilization due to the replacement of the sorbed pesticides with water molecules.

Pesticide **transformation** occurs through degradation by physico-chemical and biological processes, such as photolysis, hydrolysis, oxidation-reduction and biological degradation. The rates of degradation of some pesticides are relatively high and their residues remain in the environment for a short time. Some molecules degrade completely in the environment reaching the mineralization. Although part of this process is caused by chemical or physico-chemical reactions, such as hydrolysis and photolysis, microbiological catabolism and metabolism are generally the main mineralization processes. Degradation rates of pesticides and their metabolites are among the most essential parameters in evaluating their environmental fate.

In soil, biological degradation (or biodegradation) – oxidation, reduction, hydrolysis and their conjugations, mediated by microorganisms – is the most efficient in degrading pesticide residues. Therefore, soil microorganisms play an important role in the intermediate degradation and subsequent mineralization of many pesticides (Racke et al., 1997).

According to Hornsby and Brown (1992), soils serve as the environment in which water, heat, oxygen, and nutrients are provided to soil microorganisms and all these factors interact to determine the microbiological degradation of pesticides in soils. As mentioned by the authors, organic matter and associated nutrients provide energy and presence of oxygen affects the mechanism and rate of microbial degradation.

Racke et al. (1997) highlighted that an important consideration is the quite different microbially-mediated reactions which can be associated with aerobic or anaerobic conditions. The authors mentioned that most preceding investigations of soil microbial pesticide degradation in tropical soils have been associated with flooded, rice paddy conditions and that, under anaerobic conditions, reductive reactions represent an important route of pesticide degradation.

Racke et al. (1997), referring to a review of microbial pesticide degradation in tropical soils, concluded that improved microbial activities due to high temperatures was the main factor responsible for increasing degradation of pesticides under tropical rice paddy soil conditions. However, other environmental factors were also cited as potentially important variables governing microbial activities. In many tropical areas characterized by intermittent heavy rain and dry seasons, soils are subjected to alternate periods of flooding and drying with concomitant increases in the activities of anaerobic and aerobic microorganisms, respectively. The authors mentioned that such alternate reduction and oxidation cycles in soil could provide favorable conditions for more extensive decomposition of organic compounds than in either system alone.

Laabs et al. (2002a) suggested that in tropical regions, the high temperatures can enhance biological degradation, besides increasing volatilization of pesticides. Daam et al. (2019), citing previous studies, mentioned an increase in estimated degradation rates of pesticides by a factor of 2, for a 10°C increase in soil temperature (Shunthirasingham et al., 2010) and faster pesticide degradation associated with higher soil humidity (Klein, 1989; Shelton & Parkin, 1991).

Biodegradation is more active in unsaturated root zone of the soil, mainly due to the presence of aerobic bacteria, which are more efficient in degrading pesticides, higher content of organic matter and better soil-water-air relationships for this biota. In acid soils, as some soils in the tropics, there is predominance of fungi, which are less efficient in degrading organic chemicals. In close to neutral or slightly alkaline conditions there is a predominance of bacteria and actinomycetes. Other factor has a great weight, which is the adaptability of soil populations to the substrate.

Depending on soil moisture content, hydrolysis may be important, especially when combined with other processes, such as biodegradation. In water saturated conditions, the hydronium ion (H_3O^+) availability of the medium interferes in hydrolysis, due to the interaction with physical and chemical characteristics inherent to the molecule. Another interfering factor is temperature, which has also great influence on hydrolysis rates.

According to Racke et al. (1997), degradation of pesticides by hydrolysis in soil may occur due to reactions occurring in the soil pore water (base-catalyzed or acid-catalyzed reactions) or on the surfaces of clay minerals (heterogenous surface catalysis), and soil pH has also been implicated as an important factor influencing hydrolytic reactions.

Hornsby and Brown (1992) highlighted that soil pH can affect hydrolysis rate in several ways, because the rate of the acid-promoted process is a function of hydrogen ion concentration. The authors also mentioned that components of soil organic matter are known to catalyze the hydrolysis of some pesticides, as organophosphate compounds (chlorpyrifos, fenitrothion, malathion, parathion, as examples).

As reported by Racke et al. (1997), data in the literature support the conclusion that chemical degradation through hydrolytic reactions is dependent on the nature of the

pesticide and the characteristics of the soil. As the authors stated, these factors cannot be directly correlated to the region from which soils originate, however, the climate in which a soil is found can directly influence the rate of hydrolysis through modulation of the temperature and moisture of the soil.

In photolysis, light causes the breakdown of chemical bonds, at first by means of photochemical reactions. Indirect photolysis can also occur, where light acts as a catalyst for other physico-chemical processes, especially in water. Photolysis is considered as the process of transformation with the greatest spectrum of action, because it reaches any pesticide that is on surface of plants, soil and water.

Evidence suggests that photoinduced transformations can, in some instances, be significant and more rapid photodegradation of pesticides on moist soil surfaces versus dry soil surfaces has been reported. Although a pesticide may not be directly transformed by solar radiation, due to low absorbance between 290 and 400 nm wavelengths, indirect photodegradation may still be an important factor (Racke et al., 1997).

It is noteworthy that the level of solar radiation reaching tropical areas is approximately twice that of temperate areas (Reading et al., 1995). However, as pointed by Sanchez (2019), there is much less seasonal variability in sunlight in the tropical zone and daily averages during summer can be higher in some of the temperate zones. Sanchez (2019) also mentioned that the annual solar radiation is lowest in the humid tropics due to high cloud cover, and highest in tropical deserts, and in areas with even rainfall distribution, such as rainforests or deserts, there is little seasonality in solar radiation, whereas in areas with distinct rainy and dry seasons, cloudiness causes considerable seasonality.

Oxidation-reduction process mainly acts on chemical changes that the pesticide undergoes in photodegradation or biodegradation reactions, catalyzed, respectively, by light or microorganisms. However, in some very special situations, these reactions can occur alone, and are related to environments without light and in absence of microorganisms, in deep layers of soil or in ground water. As mentioned by Racke et al. (1997), some pesticides are susceptible to oxidation or reduction reactions which most occur in soils, respectively, under aerobic and anaerobic conditions.

Soil organic matter contains both potential oxidizing and potential reducing agents and the presence of organic matter may affect soil oxygen concentration through increased microbial activity, which, in turn affect indirectly the rate of oxidation or reduction (Hornsby & Brown, 1992).

According to Racke et al. (1997), unless a sufficient diversity of soils is compared, it is not possible to establish whether the differences in pesticide degradation rate are due to soil types, in general, or reflect the variability across soils from a given region, whether temperate or tropical. In their report, Racke et al. (1997) summarized that:

- Since soil microbial activities are affected by temperature, pesticide degradation is expected to be greater in soils in the tropics, with higher year-round temperatures than in the temperate region.

- In soil at higher average year-round temperatures (tropical and subtropical regions), the rate of hydrolytic degradation would be greater than in soil at lower temperatures; however, the increase in rate is dependent on the activation energy of the reaction.

- Given that sunlight intensity affects rates of pesticide photolysis, variations due to geographical location and season is expected. Estimation of half-lives of photosensitive pesticides indicates that due to more uniform light intensities throughout the year in the tropics, photolytic reactions would be likely to occur uniformly more rapidly.

Degradation and sorption data for locally relevant soils are required together with an understanding of soil moisture status, organic carbon content and composition, soil temperature, and previous application history (Lewis et al., 2016).

It is worth noting that when degradation, by any mechanism, is not complete, degradation products or metabolites may also be of importance to the environment and human health because some of them have the same or higher ecological and human toxicity than the original molecules.

Reviews, such as those presented by Racke et al. (1997) and Kookana et al. (1998), have called for further research to identify the key dissipation pathways, especially in soils of the tropical region. According to Daam and van den Brink (2010), although laboratory degradation and field dissipation of pesticides has often been indicated to be faster under tropical than temperate conditions, special care must be taken in extending such circumstantial evidence for a specific ecosystem in any region.

Pesticide leaching in soils is a function of water flow, sorption, and degradation, as seen, and it is influenced by other field dissipation processes, since the amount of pesticide available to leach also depends on surface runoff, volatilization and plant uptake (**Figure 2**). Thus, leaching, and consequent ground water contamination potential, can be approached as resultant from the mass balance with other dissipation mechanisms in soils over time.

The overall dissipation of a pesticide from soil results from a combination of loss mechanisms (Racke et al., 1997). When measured in the field, dissipation from soil is affected by the processes of retention, transformation and transport, as a result of prevailing soil and weather conditions (Lewis et al., 2016).

Thus, it is needed clearly to distinguish between field dissipation and laboratory degradation studies, because, as mentioned by Racke (1993), field investigations of pesticide fate are conducted under natural environmental conditions, which are characterized by variation, unpredictability, and extremes, due to the multiple forces of dissipation working simultaneously.

Field investigations of pesticide fate in the tropical region indicate that dissipation often occurs more rapidly than under temperate conditions. Based on a few instances

in literature, Racke et al. (1997) noted that, researchers reported increased dissipation under tropical field conditions as compared with published results from temperate regions. Besides increased volatility, enhanced chemical (hydrolysis) and microbial degradation account to the rapid field dissipation in the tropical region (Laabs et al. 2002a; Racke, 2003; Dores et al., 2009; Sanchez-Bayo & Hyne, 2011). Chai (2008) noted that the fast initial dissipation can be attributed to surface losses (runoff, volatilization, and photodegradation) and leaching, whereas subsequent slower dissipation is related to abiotic and microbial degradation processes inside the soil.

The most prominent mechanisms for the increase in pesticide field dissipation appear to be related to the tropical climates (Racke et al., 1997; Laabs et al. 2002a; Racke, 2003; Dores et al., 2009; Sanchez-Bayo & Hyne, 2011, Lewis et al, 2016). Lewis et al. (2016) stated that the available data suggest that field dissipation of most pesticides in soils is generally faster in tropical environments that are characterized by warmer and wetter climates (that is, in tropical rainy and seasonal climates). Corroborating with this statement, studies have demonstrated that pesticide tend to dissipate faster in humid and subhumid tropical conditions (Helling, 1997; Laabs et al., 2000; Laabs et al., 2002a; 2002b; Dores et al., 2009; 2016). As previously seen, humid and subhumid tropics are, respectively, related to rainy and seasonal climates (**Table 1**).

Chai (2008) mentioned that the higher rainfall and soil moisture accelerate the dissipation of pesticides in humid tropical soils. Dores et al. (2016) highlighted that several factors may contribute to the reduction of field half-life in subhumid tropics, such as high temperatures and soil humidity, increasing soil microbial activities, as well as intense rainfall, which contribute to runoff.

In a review, Daam and van den Brink (2010) summarized that there are four basic elements of climate that are important for pesticide dissipation especially when one compares temperate and tropical agroecosystems: rainfall, temperature, sunlight and microorganisms. The authors mentioned that rainfall is primarily responsible for surface runoff of pesticides from their treatment sites, transported in solution and with soil through erosion, and for leaching and hydrolytic degradation.

As previously cited, the various soils in the tropics cannot be classified as a distinct entity with a unique set of properties, however, Kookana and Simpson (2000) noted that, besides climate-related factors (high temperature, high humidity, and intense rainfall), highly weathered soil types in the tropical regions have the potential to markedly influence pesticide behavior.

Supported by the modeling work performed by Sanchez-Bayo and Hyne (2011), Lewis et al. (2016) stated that the lower organic carbon contents in tilled tropical soils, largely due to enhanced microbial activity, suggest that greater losses of most pesticides can occur in the water phase.

Studies on pesticide behavior and ground water contamination potential in the various tropical environments are still insufficient to draw solid conclusions. As pointed out by Chai (2008), there is a need to conduct more research, including leaching of pesticides from single profile to whole catchment, microbial degradation pathways and kinetics, identification of microorganisms responsible for pesticide degradation, enhanced degradation in soils and transport modelling using the local climatic data.

As early stated by Racke (2003), although the published literature contains several reports on behavior of pesticides in tropical ecosystems, further experimental and modeling research targeted at developing a more complete understanding and better predictive capability of the behavior of these organic chemicals under tropical environmental conditions should be encouraged.

In summary, if the onsite behavior and offsite losses of pesticides from an agricultural area is to be understood, soil sorption and degradation, volatilization into the atmosphere, surface runoff (in water solution and sorbed to soil particles) and leaching in soil profile (matrix and preferential-flow transport) data for locally relevant tropical conditions are required, considering the soil moisture and temperature, organic carbon content and composition, and previous pesticide application practices; what is an important challenge in agricultural and environmental sciences.

REFERENCES

Adeyemi, D., Anyakora, C., Ukpo, G., Adedayo, A., & Darko, G. (2011). Evaluation of the levels of organochlorine pesticide residues in water samples of Lagos Lagoon using solid phase extraction method. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *3*(6), 160–166. https://doi.org/10.5897/jece.9000023

Albuquerque, A. F., Ribeiro, J. S., Kummrow, F., Nogueira, A. J. A., Montagner, C. C., & Umbuzeiro, G. A. (2016). Pesticides in Brazilian freshwaters: A critical review. *Environmental Science: Processes & Impacts*, *18*(7), 779–787. https://doi.org/10.1039/c6em00268d

Barbosa, I. A., Amorim, R. S. S., & Dores, E. F. G. C. (2016). Losses of pesticides in runoff from cotton crops under different management systems. *African Journal of Agricultural Research*, *11*(40), 3991–3999. https://doi.org/10.5897/ajar2013.6786

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, *5*(5), 180214. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214

Berenzen, N., Lentzen-Godding, A., Probst, M., Schulz, H., Schulz, R., & Liess, M. (2005). A comparison of predicted and measured levels of runoff-related pesticide concentrations in small lowland streams on a landscape level. *Chemosphere*, *58*(5), 683–691. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.05.009

Bhuiyan, M. A. H., Rahman, M. H., Uddin, M. A., Chowdhury, M. A. Z., Rahman, M. A., Saha, B. B., & Didar-Ul Islam, S. M. (2021). Contamination of pond and canal water by residues of organophosphorus and carbamate pesticides in Feni district, Bangladesh. *Environmental Sustainability*, *4*(1), 191–197. https://doi.org/10.1007/s42398-021-00161-1

Bonell, M. (2005). Runoff generation in tropical forests. In M. Bonell & L. Bruijnzeel (Eds.), *Forests, water and people in the humid tropics: Past, present and future hydrological research for integrated land and water management* (pp. 314–406). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511535666.020

Brevik, E. C. (2012). Soils and climate change: Gas fluxes and soil processes. *Soil Horizons*, *53*(4), 12–23. https://doi.org/10.2136/sh12-04-0012

Brown, C. D., Hughes, G. O., Hollis, J. M., & Ramwell, C. T. (2009). *Importance of surface runoff as a route of aquatic exposure to pesticides in the UK - Appendix 1: Literature reviews*. University of York.

Buol, S. W., Southard, R. J., Graham, R. C., & McDaniel, P. A. (2011). *Soil genesis and classification* (6th ed.). Wiley-Blackwell.

Campling, P., Gobin, A., Beven, K., & Feyen, J. (2002). Rainfall-runoff modelling of a humid tropical catchment: The TOPMODEL approach. *Hydrological Processes*, *16*(2), 231–253. https://doi.org/10.1002/hyp.341

Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, *6*(2), 48–60. https://doi.org/10.1002/fes3.108

Chai, L. K. (2008). *Fate of pesticides in the humid tropics: Application to insecticides used in vegetable crops.* [Doctoral dissertation, University of Copenhagen]. https://core.ac.uk/download/pdf/269166405.pdf

Chowdhury, Al. Z., Jahan, S. A., Islam, M. N., Moniruzzaman, M., Alam, M. K., Zaman, M. A., Karim, N., & Gan, S. H. (2012). Occurrence of organophosphorus and carbamate pesticide residues in surface water samples from the Rangpur district of Bangladesh. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *89*(1), 202–207. https://doi.org/10.1007/s00128-012-0641-8

Corlett, R. T. (2014). The impacts of climate change in the tropics. In *STATE of the tropics: 2014 Report* (pp. 155–166). James Cook University. https://www.jcu.edu.au/state-of-the-tropics/publications/2014-state-of-the-tropics-report/2014-essay-pdfs/Essay-2-Corlett.pdf

Correia, F. V., Langenbach, T., & Campos, T. M. (2010). Avaliação do transporte de atrazina em solos sob diferentes condições de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, *34*(2), 525–534. https://doi.org/10.1590/s0100-06832010000200026

Correia, F. V., Macrae, A., Guilherme, L. R. G., & Langenbach, T. (2007). Atrazine sorption and fate in a Ultisol from humid tropical Brazil. *Chemosphere*, *67*(5), 847–854. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.11.034

Cox, L., Velarde, P., Cabrera, A., Hermosín, M. C., & Cornejo, J. (2007). Dissolved organic carbon interactions with sorption and leaching of diuron in organic-amended soils. *European Journal of Soil Science*, *58*(3), 714–721. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00856.x

Daam, M. A., Chelinho, S., Niemeyer, J. C., Owojori, O. J., De Silva, P. M. C. S., Sousa, J. P., van Gestel, C. A. M., & Römbke, J. (2019). Environmental risk assessment of pesticides in tropical terrestrial ecosystems: Test procedures, current status and future perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *181*, 534–547. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.06.038

Daam, M. A., & van den Brink, P. J. (2010). Implications of differences between temperate and tropical freshwater ecosystems for the ecological risk assessment of pesticides. *Ecotoxicology*, *19*(1), 24–37. https://doi.org/10.1007/s10646-009-0402-6

Defersha, M. B., & Melesse, A. M. (2012). Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*, *90*, 47–52. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.002

Deknock, A., De Troyer, N., Houbraken, M., Dominguez-Granda, L., Nolivos, I., van Echelpoel, W., Forio, M. A. E., Spanoghe, P., & Goethals, P. (2019). Distribution of agricultural pesticides in the freshwater environment of the Guayas River Basin (Ecuador). *Science of the Total Environment*, *646*, 996–1008. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.185

Dores, E. F. G. C., Spadotto, C. A., & Mingoti, R. (2023). Pesticide contamination of groundwater in the tropical region. In C. E. da S. Paniagua (Ed.), *Meio ambiente: Agricultura, desenvolvimento e sustentabilidade 2* (pp. 41–69, cap. 4). Atena. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1154687

Dores, E. F. G. C., Spadotto, C. A., Weber, O. L. S., Carbo, L., Vecchiato, A. B., & Pinto, A. A. (2008). Environmental behaviour of metolachlor and diuron in a tropical soil in the Central Region of Brazil. *Water, Air, & Soil Pollution*, *197*(1-4), 175–183. https://doi.org/10.1007/s11270-008-9801-1

Dores, E. F. G. C., Spadotto, C. A., Weber, O. L. S., Dalla Villa, R., Vecchiato, A. B., & Pinto, A. A. (2015). Environmental behavior of chlorpyrifos and endosulfan in a tropical soil in Central Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(20), 3942–3948. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04508

Douglas, J., & Guyot, J.-L. (2005). Erosion and sediment yield in the humid tropics. In M. Bonell & L. Bruijnzeel (Eds.), *Forests, water and people in the humid tropics: Past, present and future hydrological research for integrated land and water management* (pp. 407–421, chap. 15). Cambridge University Press.

Driessen, P., Deckers, J., Spaargaren, O., & Nachtergaele, F. (Eds.). (2001). *Lecture notes on the major soils of the world*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. https://www.fao.org/3/y1899e/y1899e.pdf

Elfikrie, N., Ho, Y. B., Zaidon, S. Z., Juahir, H., & Tan, E. S. S. (2020). Occurrence of pesticides in surface water, pesticides removal efficiency in drinking water treatment plant and potential health risk to consumers in Tengi River Basin, Malaysia. *Science of the Total Environment*, *712*, 136540. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136540

Elias, D., Wang, L., & Jacinthe, P.-A. (2018). A meta-analysis of pesticide loss in runoff under conventional tillage and no-till management. *Environmental Monitoring and Assessment*, *190*(2), 79. https://doi.org/10.1007/s10661-017-6441-1

FAO - Food and Agriculture Organization. (n.d.). *Pesticide use*. FAOSTAT. Retrieved October 18, 2023, from http://www.fao.org/faostat/en/#data/rp/visualize

Flury, M., Flühler, H., Jury, W. A., & Leuenberger, J. (1994). Susceptibility of soils to preferential flow of water: a field study. *Water Resources Research*, *30*(7), 1945–1954. https://doi.org/10.1029/94wr00871

Futch, S. H., & Singh, M. (1999). Herbicide mobility using soil leaching columns. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *62*(5), 520–529. https://doi.org/10.1007/s001289900907

Garen, D. C., & Moore, D. S. (2005). Curve number hydrology in water quality modeling: Uses, abuses, and future directions. *Journal of the American Water Resources Association*, *41*(2), 377–388. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03742.x

Gentil, C., Fantke, P., Mottes, C., & Basset-Mens, C. (2019). Challenges and ways forward in pesticide emission and toxicity characterization modeling for tropical conditions. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *25*, 1290–1306. https://doi.org/10.1007/s11367-019-01685-9

Helling, C. S. (1997). Environmental fate of herbicides in Hawaii, Peru and Panama. In *Environmental Behaviour of Crop Protection Chemicals, Proceedings of an International Conference* (pp. 389–406). International Atomic Energy Agency (IAEA). https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/041/28041616.pdf?r=1

Holland, J. M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *103*(1), 1–25. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.018

Hornsby, A. G., & Brown, R. G. (1992). Soil parameters significant to pesticide fate. In *Proceedings of the Soil Quality Standards Symposium* (pp. 62–71). Forest Service, U. S. Department of Agriculture. https://forest.moscowfsl.wsu.edu/smp/solo/documents/MISC/WO-WSA-2/WO-WSA-2_ProcSoilQualSt_1992.pdf

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1

Isaac, J., & Turton, S. (2014). Expansion of the tropics: Evidence and implications. In *STATE of the tropics: 2014 Report* (pp. 435–447). James Cook University. https://www.jcu.edu.au/state-of-the-tropics/publications/2014-state-of-the-tropics-report/2014-essay-pdfs/Essay-5-Isaac-and-Turton.pdf

Jiang, L., Huang, J., Liang, L., Zheng, P. Y., & Yang, H. (2008). Mobility of prometryne in soil as affected by dissolved organic matter. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(24), 11933–11940. https://doi.org/10.1021/jf8023134

Juo, A. S. R., & Franzluebbers, K. (2003). *Tropical soils: Properties and management for sustainable agriculture*. Oxford University Press on Demand.

Kafle, B. K., Pokhrel, B., Shrestha, S., Raut, R., & Dahal, B. M. (2015). Determination of pesticide residues in water and soil samples from Ansikhola watershed, Kavre, Nepal. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, *5*(2), 119–127.

Kah, M., & Brown, C. D. (2006). Adsorption of ionisable pesticides in soils. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, *188*, 149–217. https://doi.org/10.1007/978-0-387-32964-2_5

Keesstra, S. D., Geissen, V., Mosse, K., Piiranen, S., Scudiero, E., Leistra, M., & van Schaik, L. (2012). Soil as a filter for groundwater quality. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *4*(5), 507–516. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.007

Klein, M. (2011). *PELMO (pesticide leaching model): Version 4.0 – User manual.* Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology.

Klein, W. (1989). Mobility of environmental chemicals, including abiotic degradation. In P. Bourdeau, J. A. Haines, W. Klein, & C. R. Krishna Murti (Eds.), *Ecotoxicology and climate: With special reference to hot and cold climates* (pp. 65–78). John Wiley and Sons.

Knowler, D., & Bradshaw, B. (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*, *32*(1), 25–48. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.01.003

Kookana, R. S., Baskaran, S., & Naidu, R. (1998). Pesticide fate and behaviour in Australian soils in relation to contamination and management of soil and water: A review. *Soil Research*, *36*(5), 715–764. https://doi.org/10.1071/s97109

Kookana, R. S., & Simpson, B. W. (2000). Pesticide fate in farming systems: Research and monitoring. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *31*(11-14), 1641–1659. https://doi.org/10.1080/00103620009370530

Köppen, W. (1936). Das geographische system der klimate. In W. Köppen & R. Geiger (Eds.), *Handbuch der Klimatologie (Handbook of Climatology)* (pp. 1–44). Gebrüder Bornträger.

Koskinen, W. C., Rice, P. J., Anhalt, J. A., Sakaliene, O., Moorman, T. B., & Arthur, E. L. (2002). Sorption-desorption of "aged" sulfonylaminocarbonyltriazolinone herbicides in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(19), 5368–5372. https://doi.org/10.1021/jf0201733

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, *15*(3), 259–263.

Laabs, V., Amelung, W., Pinto, A. A., Wantzen, M., da Silva, C. J., & Zech, W. (2002a). Pesticides in surface water, sediment, and rainfall of the Northeastern Pantanal Basin, Brazil. *Journal of Environmental Quality*, *31*(5), 1636–1648. https://doi.org/10.2134/jeq2002.1636

Laabs, V., Amelung, W., Pinto, A., Altstaedt, A., & Zech, W. (2000). Leaching and degradation of corn and soybean pesticides in an Oxisol of the Brazilian Cerrados. *Chemosphere*, *41*(9), 1441–1449. https://doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00546-9

Laabs, V., Amelung, W., Pinto, A., & Zech, W. (2002b). Fate of pesticides in tropical soils of Brazil under field conditions. *Journal of Environmental Quality*, *31*(1), 256–268. https://doi.org/10.2134/jeq2002.2560

Langenbach, T., Schroll, R., & Scheunert, I. (2001). Fate of the herbicide 14C-terbuthylazine in Brazilian soils under various climatic conditions. *Chemosphere*, *45*(3), 387–398. https://doi.org/10.1016/s0045-6535(00)00548-8

Lecomte, V., Barriuso, E., Bresson, L.-M. ., Koch, C., & Le Bissonnais, Y. (2001). Soil surface structure effect on isoproturon and diflufenican loss in runoff. *Journal of Environmental Quality*, *30*(6), 2113–2119. https://doi.org/10.2134/jeq2001.2113

Lefrancq, M., Payraudeau, S., García Verdú, A. J., Maillard, E., Millet, M., & Imfeld, G. (2013). Fungicides transport in runoff from vineyard plot and catchment: Contribution of non-target areas. *Environmental Science and Pollution Research*, *21*(7), 4871–4882. https://doi.org/10.1007/s11356-013-1866-8

Lennartz, B., Michaelsen, J., Wichtmann, W., & Widmoser, P. (1999). Time variance analysis of preferential solute movement at a tile-drained field site. *Soil Science Society of America Journal*, *63*(1), 39–47. https://doi.org/10.2136/sssaj1999.03615995006300010007x

Leu, C., Singer, H., Stamm, C., Müller, S. R., & Schwarzenbach, R. P. (2004). Simultaneous assessment of sources, processes, and factors influencing herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment. *Environmental Science & Technology*, *38*(14), 3827–3834. https://doi.org/10.1021/es0499602

Lewis, S., Silburn, D. M., Kookana, R. S., & Shaw, M. (2016). Pesticide behavior, fate, and effects in the tropics: An overview of the current state of knowledge. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(20), 3917–3924. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01320

Li, H.-Y., & Sivapalan, M. (2014). Functional approach to exploring climatic and landscape controls on runoff generation: 2. Timing of runoff storm response. *Water Resources Research*, *50*(12), 9323–9342. https://doi.org/10.1002/2014wr016308

Li, H.-Y., Sivapalan, M., Tian, F., & Harman, C. (2014). Functional approach to exploring climatic and landscape controls of runoff generation: 1. Behavioral constraints on runoff volume. *Water Resources Research*, *50*(12), 9300–9322. https://doi.org/10.1002/2014wr016307

Li, K., Xing, B., & Torello, W. A. (2005). Effect of organic fertilizers derived dissolved organic matter on pesticide sorption and leaching. *Environmental Pollution*, *134*(2), 187–194. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.08.011

Locke, M. A., Zablotowicz, R. M., Reddy, K. N., & Steinriede, R. W. (2008). Tillage management to mitigate herbicide loss in runoff under simulated rainfall conditions. *Chemosphere*, *70*(8), 1422–1428. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.09.006

Lorenz, S., Rasmussen, J. J., Süß, A., Kalettka, T., Golla, B., Horney, P., Stähler, M., Hommel, B., & Schäfer, R. B. (2016). Specifics and challenges of assessing exposure and effects of pesticides in small water bodies. *Hydrobiologia*, *793*(1), 213–224. https://doi.org/10.1007/s10750-016-2973-6

Louchart, X., Voltz, M., Andrieux, P., & Moussa, R. (2001). Herbicide transport to surface waters at field and watershed scales in a Mediterranean vineyard area. *Journal of Environment Quality*, *30*(3), 982–991. https://doi.org/10.2134/jeq2001.303982x

Lucas, C., Timbal, B., & Nguyen, H. (2013). The expanding tropics: A critical assessment of the observational and modeling studies. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *5*(1), 89–112. https://doi.org/10.1002/wcc.251

McGarry, D., Bridge, B. J., & Radford, B. J. (2000). Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research*, *53*(2), 105–115. https://doi.org/10.1016/s0167-1987(99)00091-4

Mhazo, N., Chivenge, P., & Chaplot, V. (2016). Tillage impact on soil erosion by water: Discrepancies due to climate and soil characteristics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *230*, 231–241. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.033

Müller, K., Trolove, M., James, T. K., & Rahman, A. (2004). Herbicide loss in runoff: Effects of herbicide properties, slope, and rainfall intensity. *Soil Research*, *42*(1), 17. https://doi.org/10.1071/sr03090

Nag, S. K., Saha, K., Bandopadhyay, S., Ghosh, A., Mukherjee, M., Raut, A., Raman, R. K., Suresh, V. R., & Mohanty, S. K. (2020). Status of pesticide residues in water, sediment, and fishes of Chilika Lake, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, *192*(2), 122. https://doi.org/10.1007/s10661-020-8082-z

Ochsner, T. E., Stephens, B. M., Koskinen, W. C., & Kookana, R. S. (2006). Sorption of a hydrophilic pesticide. *Soil Science Society of America Journal*, *70*(6), 1991–1997. https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0091

Oliveira, M. M., Novo, M. E., & Lobo Ferreira, J. P. (2007). Models to predict the impact of the climate changes on aquifer recharge. In J. P. Lobo Ferreira & J. M. P. Vieira (Eds.), *Water in Celtic countries: Quantity, quality and climate variability* (pp. 259–266). International Association of Hydrological Sciences (IAHS).

Pareek, N. (2017). Climate change impact on soils: adaptation and mitigation. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, *2*(3), 136–139. https://doi.org/10.15406/mojes.2017.02.00026

Payraudeau, S., McGrath, G. S., & Hinz, C. (2011). Climate and contaminant transport: The role of within-storm variability on contaminant transport by surface runoff. In N. E. Peters, V. Krysanova, A. Lepistö, R. Prasad, M. Thoms, & S. Zandaryaa (Eds.), *Water Quality: Current Trends and Expected Climate Change Impacts* (pp. 32–37). International Association of Hydrological Sciences (IAHS).

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, *11*(5), 1633–1644. https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007

Racke, K. D. (1993). Environmental fate of chlorpyrifos. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, *131*, 1–150. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4362-5_1

Racke, K. D. (2003). What do we know about the fate of pesticides in tropical ecosystems? In J. R. Coats & H. Yamamoto (Eds.), *Environmental Fate and Effects of Pesticides* (pp. 96–123). American Chemical Society.

Racke, K. D., Skidmore, M. W., Hamilton, D. J., Unsworth, J. B., Miyamoto, J., & Cohen, S. Z. (1997). Pesticide fate in tropical soils (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, *69*(6), 1349–1372. https://doi.org/10.1351/pac199769061349

Reading, A., Millington, A. C., & Thompson, R. D. (1995). *Humid tropical environments*. Wiley-Blackwell.

Reddy, K. N., Zablotowicz, R. M., & Locke, M. A. (1995). Chlorimuron adsorption, desorption, and degradation in soils from conventional tillage and no-tillage systems. *Journal of Environment Quality*, *24*(4), 760–767. https://doi.org/10.2134/jeq1995.00472425002400040029x

Reichenberger, S., Amelung, W., Laabs, V., Pinto, A., Totsche, K. U., & Zech, W. (2002). Pesticide displacement along preferential flow pathways in a Brazilian Oxisol. *Geoderma*, *110*(1-2), 63–86. https://doi.org/10.1016/s0016-7061(02)00182-9

Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., & Frede, H.-G. . (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness: A review. *Science of the Total Environment*, *384*(1-3), 1–35. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.046

Rice, C. P., Nochetto, C. B., & Zara, P. (2002). Volatilization of trifluralin, atrazine, metolachlor, chlorpyrifos, α-endosulfan, and β-endosulfan from freshly tilled soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(14), 4009–4017. https://doi.org/10.1021/jf011571t

Rice, P. J., Rice, P. J., Arthur, E. L., & Barefoot, A. C. (2007). Advances in pesticide environmental fate and exposure assessments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(14), 5367–5376. https://doi.org/10.1021/jf063764s

Sanchez, P. A. (2019). *Properties and management of soils in the tropics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Sanchez-Bayo, F., & Hyne, R. V. (2011). Comparison of environmental risks of pesticides between tropical and nontropical regions. *Integrated Environmental Assessment and Management*, *7*(4), 577–586. https://doi.org/10.1002/ieam.189

Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. A. de, Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Araújo Filho, J. C. de, Oliveira, J. B. de, & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5th ed.). Embrapa. https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos

Scherrer, S., Naef, F., Faeh, A. O., & Cordery, I. (2007). Formation of runoff at the hillslope scale during intense precipitation. *Hydrology and Earth System Sciences*, *11*(2), 907–922. https://doi.org/10.5194/hess-11-907-2007

Scorza Júnior, R. P., & Boesten, J. J. (2005). Simulation of pesticide leaching in a cracking clay soil with the PEARL model. *Pest Management Science*, *61*(5), 432–448. https://doi.org/10.1002/ps.1004

Seidel, D. J., Fu, Q., Randel, W. J., & Reichler, T. J. (2008). Widening of the tropical belt in a changing climate. *Nature Geoscience*, *1*, 21–24. https://doi.org/10.1038/ngeo.2007.38

Shelton, D. R., & Parkin, T. B. (1991). Effect of moisture on sorption and biodegradation of carbofuran in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *39*(11), 2063–2068. https://doi.org/10.1021/jf00011a036

Shunthirasingham, C., Mmereki, B. T., Masamba, W., Oyiliagu, C. E., Lei, Y. D., & Wania, F. (2010). Fate of pesticides in the arid subtropics, Botswana, Southern Africa. *Environmental Science & Technology*, *44*(21), 8082–8088. https://doi.org/10.1021/es1024788

Silburn, D. M. (2003). *Characterising pesticide runoff from soil on cotton farms using a rainfall simulator* [Thesis (Doctoral dissertation, University of Sydney)]. https://ses.library.usyd.edu.au/handle/2123/24339

Silburn, D. M. (2023). Pesticide extraction from soil into runoff under a rainfall simulator. *Soil Research*, *61*(5). https://doi.org/10.1071/sr22115

Silburn, D. M., & Kennedy, I. R. (2007). Rain simulation to estimate pesticide transport in runoff. In I. R. Kennedy, K. R. Solomon, S. J. Gee, A. N. Crossan, S. Wang, & F. Sánchez-Bayo (Eds.), *Rational environmental management of agrochemicals: Risk assessment, monitoring and remedial action* (pp. 120–135). American Chemical Society.

Soil Survey Staff. (1999). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys* (2nd ed.). U. S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Soil%20Taxonomy.pdf

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy* (12th ed.). U. S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. https://nrcs.app.box.com/s/xi57bj6zyo601eokr7v715mkdpeaa81h/file/1147478400323

Song, N. H., Chen, L., & Yang, H. (2008). Effect of dissolved organic matter on mobility and activation of chlorotoluron in soil and wheat. *Geoderma*, *146*(1-2), 344–352. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.05.031

Spadotto, C. A., Locke, M. A., Bingner, R. L., & Mingoti, R. (2020). Estimating sorption of monovalent acidic herbicides at different pH levels using a single sorption coefficient. *Pest Management Science*, *76*(8), 2693–2698. https://doi.org/10.1002/ps.5815

Spadotto, C. A., & Mingoti, R. (2023). Climates, soils, and agriculture in the tropical region. In C. E. da S. Paniagua (Ed.), *Meio ambiente: Agricultura, desenvolvimento e sustentabilidade 2* (pp. 6–22). Atena. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1154854

Syversen, N. (2005). Cold-climate vegetative buffer zones as pesticide-filters for surface runoff. *Water Science and Technology*, *51*(3-4), 63–71. https://doi.org/10.2166/wst.2005.0576

Tan, H., Li, Q., Zhang, H., Wu, C., Zhao, S., Deng, X., & Li, Y. (2020). Pesticide residues in agricultural topsoil from the Hainan tropical riverside basin: Determination, distribution, and relationships with planting patterns and surface water. *Science of the Total Environment*, *722*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137856

Trewin, B. (2014). The climates of the tropics, and how they are changing. In *STATE of the tropics: 2014 Report* (pp. 39–51). James Cook University. https://www.jcu.edu.au/state-of-the-tropics/publications/2014-state-of-the-tropics-report/2014-essay-pdfs/Essay-1-Trewin.pdf

Troll, C. (1963). Seasonal climates of the earth: The seasonal course of natural phenomena in the different climatic zones of the earth. In E. Rodenwaldt & H. J. Jusatz (Eds.), *Weltkarten zur klimakunde (World maps of climatology)* (pp. 19–25). Springer.

Trovato, V. W., Portilho, I. I. R., Barizon, R. R. M., & Scorza Júnior, R. P. (2020). Herbicide runoff from a soil with different levels of sugarcane straw coverage in Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, *15*(1), 25–35. https://doi.org/10.5132/eec.2020.01.04

van den Berg, F., Tiktak, A., Boesten, J. J. T. I., & van der Linden, A. M. A. (2016). *PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil-plant systems: description of processes*. Alterra Wageningen UR.

van der Linden, A. M. A., Tiktak, A., Boesten, J. J. T. I., & Leijnse, A. (2009). Influence of pH-dependent sorption and transformation on simulated pesticide leaching. *Science of the Total Environment*, *407*(10), 3415–3420. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.01.059

van Jaarsveld, J. A., & van Pul, W. A. J. (1999). Modelling of atmospheric transport and deposition of pesticides. *Water, Air, and Soil Pollution*, *115*(1/4), 167–182. https://doi.org/10.1023/a:1005217828714

Vaz, L. R. L., Barizon, R. R. M., Souza, A. J. de, & Regitano, J. B. (2021). Runoff of hexazinone and diuron in green cane systems. *Water, Air, & Soil Pollution*, *232*. https://doi.org/10.1007/s11270-021-05074-7

Vianello, M., Vischetti, C., Scarponi, L., & Zanin, G. (2005). Herbicide losses in runoff events from a field with a low slope: Role of a vegetative filter strip. *Chemosphere*, *61*(5), 717–725. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.03.043

Woessner, W. W. (2020). *Groundwater-surface water exchange*. The Groundwater Project. https://gw-project.org/books/groundwater-surface-water-exchange

Yadav, I. C., Devi, N. L., Syed, J. H., Cheng, Z., Li, J., Zhang, G., & Jones, K. C. (2015). Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. *Science of the Total Environment*, *511*, 123–137. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.041

CAPÍTULO 4

CATALYTIC PROPERTIES OF PHYTASES FOR INCLUSION IN POULTRY AND PIG DIETS

Data de submissão: 29/01/2024 *Data de aceite: 01/04/2024*

Júlio Cézar dos Santos Nascimento
Federal Rural University of Pernambuco, Department of Animal Science
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0003-3107-5876

Apolônio Gomes Ribeiro
Federal University of Paraíba, Department of Animal Science
Areia-PB
https://orcid.org/0000-0001-6730-0209

Hilton Nobre da Costa
Federal Rural University of Pernambuco
Recife - Pernambuco
https://orcid.org/0000-0002-3485-3162

Dayane Albuquerque da Silva
Federal Rural University of Pernambuco, Department of Animal Science
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0001-6243-3969

Elisabete Albuquerque dos Santos Benvenuto
Federal Rural University of Pernambuco, Department of Agronomy
Recife - Pernambuco
https://orcid.org/0000-0002-6625-4797

Carlos Bôa-Viagem Rabello
Federal Rural University of Pernambuco, Department of Animal Science
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0002-5912-162X

José António Couto Teixeira
Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Biológica
Braga-Portugal
https://orcid.org/0000-0002-4918-3704

Tatiana Souza Porto
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0002-1571-8897

Ana Lúcia Figueiredo Porto
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0001-5561-5158

ABSTRACT: Cost reduction in animal production has generated wide discussion, especially because of the frequent use of foods containing anti-nutritional factors such as phytate, which impair the bioavailability of nutrients in non-ruminant animals. Addressing this challenge is crucial to ensure efficient and sustainable production. In this context, phytase enzymes stand out as essential tools, catalyzing the breakdown of phytate and increasing the availability of crucial minerals, such as phosphorus, thus improving the absorption of these nutrients by animals. This approach not only benefits the health of animals but also contributes to the economic efficiency of production operations by promoting more sustainable practices. This study aims to highlight the importance of phytase enzymes, covering their production, purification, biochemical characterization, and catalytic properties, providing valuable insights for implementing these enzymes in animal diets and, thus, promoting more sustainable and economically efficient production practices.
KEYWORDS: Exogenous enzymes, Animal production, Phytate.

PROPRIEDADES CATALÍTICAS DE FITASES PARA INCLUSÃO EM DIETAS DE AVES E SUÍNOS

RESUMO: A redução de custos na produção animal tem gerado ampla discussão, especialmente devido ao uso frequente de alimentos contendo fatores antinutricionais como o fitato, prejudicando a biodisponibilidade de nutrientes em animais não-ruminantes. Enfrentar esse desafio é crucial para garantir uma produção eficiente e sustentável. Nesse contexto, as enzimas fitases destacam-se como ferramentas essenciais, catalisando a quebra do fitato e aumentando a disponibilidade de minerais cruciais, como o fósforo, melhorando a absorção desses nutrientes pelos animais. Essa abordagem não apenas beneficia a saúde dos animais, mas também contribui para a eficiência econômica das operações de produção, promovendo práticas mais sustentáveis. Este estudo visa ressaltar a importância das enzimas fitases, abrangendo sua produção, purificação, caracterização bioquímica e propriedades catalíticas, proporcionando entendimentos valiosos para a implementação dessas enzimas em dietas animais e, assim, promovendo práticas de produção mais sustentáveis e economicamente eficientes.
PALAVRAS-CHAVE: Enzimas exógenas, Produção animal, Fitato.

INTRODUCTION

Reducing production costs has been a widely discussed issue in the context of animal production. Diet formulations often use foods that contain antinutritional factors, such as phytate, which reduce the bioavailability of nutrients and make digestion difficult for non-ruminant animals (Nascimento et al., 2023).

The importance of facing this challenge becomes even more evident when we consider the need to guarantee efficient and sustainable production (Nascimento et al., 2023). In this context, phytase enzymes have emerged as essential tools to mitigate the negative effects of phytate. By catalyzing the breakdown of this compound, phytases increase the availability of crucial minerals, such as phosphorus, thus improving the absorption and use

of these nutrients by animals (Nezhad et al., 2020). This approach not only favors animal health but also contributes to the economic efficiency of production operations (Rodrigues et al., 2023), promoting more sustainable practices aligned with contemporary demands.

Based on the above, this study aimed to address the relevance of phytase enzymes, covering the production, purification, and biochemical characterization of these enzymes, as well as the catalytic properties associated with them.

PHYTASE

Phytase was discovered by Suzuki et al. (1908) and further researched in 1960. The first commercial phytase was produced by *Aspergillus niger* with the ability to release phosphorus linked to phytate and reduce its excretion (Gourley et al., 2018). This enzyme was commercialized in 1991, known as Natuphos®, produced and introduced to the market by BASF® (Engelen et al., 1994; Selle and Ravindran, 2007).

Phytases form a group of enzymes, generically called *myo-inositol hexaphosphate phosphohydrolase*, and are classified as specific monoester phosphatases that can be differentiated according to the position of hydrolysis in the phytic acid molecule (Selle and Ravindran, 2007).

According to the International Union of Pure and Applied Chemistry and the International Union of Biochemistry (IUPAC-IUB), two categories of phytases are recognized according to the position where phytate hydrolysis is initiated: 3-phytase (EC 3.1.3.8), which initiates the removal of an orthophosphate group from carbon 3, however 6-phytase (EC 3.1.3.26) carries out the reaction at carbon 6 of the *myo-inositol hexaphosphate* molecule, and 3-phytase is mainly of microbial origin (bacterial or fungal) and 6-phytase is derived from vegetables, associated with breaking dormancy in plant seeds, releasing orthophosphate groups from phytate for plant growth (Pandey et al., 2001; Konietzny and Greiner, 2002).

3-phytases (EC 3.1.3.8) are systematically called *myo-inositol hexakis*phosphate-3-phosphohydrolases that act on the hydrolysis of the ester bond in the third position of IP6 in IP5 and free orthophosphate (Vats and Banerjee, 2004). However, 6-phytases (EC 3.1.3.26) are chemically designated as myo-inositol hexakisphosphate-6-phosphohydrolase, which promotes the hydrolytic catalysis of the ester bond in the sixth position of IP6. Recently, this was reported for phytase produced by *A. niger*, which shows 3-phytase activity, whereas *Peniophora lycii* and *Escherichia coli* show 6-phytase activity (Selle et al., 2003).

The dephosphorylation reaction catalyzed by phytases is illustrated in Figure 1. In this reaction, phytic acid is transformed into phosphoric acid, inositol, and intermediate compounds (inositol phosphatides) including mono-, bi-, tri-, tetra-, inositol esters, and pentaphosphate (IP1-IP5) depending on the degree of dephosphorylation catalyzed by the enzyme (Konietzny and Greiner, 2002).

The catabolism pathway for the degradation of phytic acid follows a model of gradual dephosphorylation: IP6 → IP5 → IP4 → IP3 → IP2 → IP1 → inositol. Phytate has six groups that can be released, depending on the phytase used, at different speeds and in different orders. Phytases synthesized by filamentous fungi and the bacterium *Escherichia coli* can release only five of the six orthophosphate groups, with the final product being *myo-inositol* 2-monophosphate (Dasgupta et al., 1996).

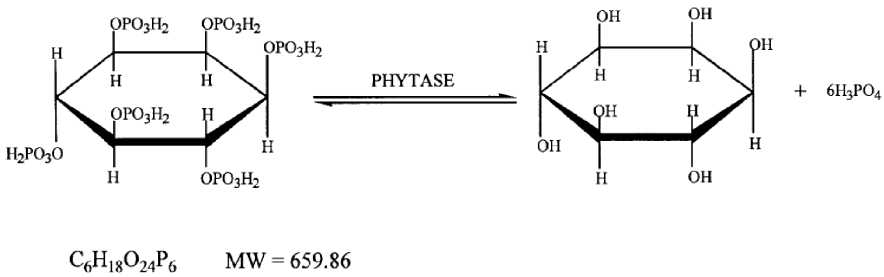


Figure 1. Enzymatic hydrolysis is catalyzed by phytase in the phytic acid molecule (Reproduced from Krishna and Nokes, 2001).

The determination of enzymatic activity using phytic acid salts, such as sodium phytate, allows the separation of phytases from other acid phosphatases, which are inefficient in hydrolyzing phytic acid. However, substrate specificity for phytase may vary because of differences in the molecular characteristics of enzymes purified from different sources (Ries, 2010). The released inorganic phosphate is measured by a colorimetric method, and reversed-phase high-performance liquid chromatography methodology has been well developed for the separation and determination of phytic acid and minor inositol phosphatides resulting from reactions catalyzed by phytases (Ries, 2010).

Colorimetric methods for determining inorganic orthophosphates are mainly based on the reduction of a phosphomolybdate complex by ferrous sulfate or ascorbic acid, which generates “blue molybdenum” (Engelen, et al., 1994). The colorimetric method for determining phosphorus, known as the ascorbic acid method of Fiske and Subbarow (1925), as well as adaptations arising from it, has been used for decades by several authors to determine the activity of phytases (Bindu et al., 1998).

Phytase activity can also be measured through the activity of acid phosphatases using synthetic substrates, such as *p*-nitrophenyl phosphate, as described by Ullah and Gibson (1986) and is widely used by several authors, according to Ries (2010).

Phytase activity is measured by the amount of inorganic phosphate released by the catalytic action of the enzyme. One unit of phytase enzyme activity can be defined as the amount of enzyme required to release one (1.0) µmol of inorganic phosphate per minute of reaction under conditions of pH, temperature, and phytate concentration in which the experiments were carried out (Selle and Ravindran, 2007).

Phytases have already been found in several plant sources, such as wheat, corn, some herbs, shrubs, lettuce, rye, and oilseeds, with the highest activities being found in wheat (*Triticum aestivum*), rye (*Secale cereale*) and in barley (*Hordeum vulgare*). Phytases obtained from germinating seeds and pollen were purified and characterized. Alkaline phytases have also been identified in the pollen of *Lilium longiflorum* and *Typha latifolia* and in legume seeds (Ramachandran et al., 2005). Vegetables are generally attributed to low values of phytase activity; however, Mroz et al. (1994) demonstrated that wheat phytase can improve phosphorus digestibility from 27 to 50%. Furthermore, Kornegay (1996) demonstrated that wheat phytase acts at a much lower pH limit than fungal phytase (Figure 2) and highlighted some advantages, such as greater substrate specificity and therefore a lower affinity constant (*K*m) of fungal phytase when compared with plant origin (Fireman and Fireman, 1998).

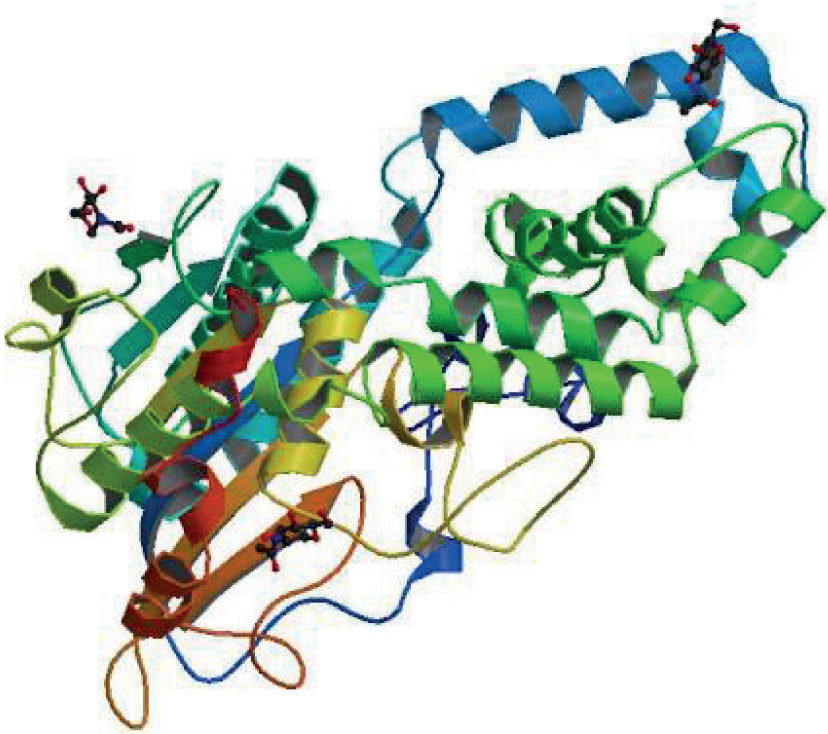


Figure 2. Molecular structure of phytase produced by Aspergillus niger (Oakley, 2010).

Although animal and plant sources represent important scientific advances, their practical applications in phytase production are limited. On the other hand, microbial sources have more desirable characteristics, which allow high yield and scale expansion and are thus widely and effectively used in the animal feed industry. Several species of fungi, bacteria, and yeast have been used in the production of phytases, genetically modified or not (Joudaki et al. 2023).

Some wild species of bacteria are used to produce phytase, mainly because of their enzyme production values and because they have an optimal pH range that is not suitable for the digestive system of non-ruminant animals. The activity of phytases can be intracellular or extracellular. When studied in *Enterobacter sp.*, 81.7% of activity was detected in the extracellular fraction, 4.4% in the periplasmic fraction, and the remainder in the intracellular portion (Roopesh et al., 2006).

PRODUCTION, PURIFICATION, AND BIOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF PHYTASES

Fermentation is greatly influenced by several physicochemical variables in the biomolecule production medium. Cultivation conditions, microbial species and strain, nature of the substrate, and nutrient availability are important factors that affect the production and secretion of phytases, which are obtained from the addition of sodium phytate to the medium as a source of inorganic phosphorus (Ries, 2010).

The production of phytase has already been well cited in liquid media, i.e., through submerged fermentation; however, the use of agro-industrial residues for the production of phytase by fungi of the genus *Aspergillus* has been reported (Meta et al., 2009). Some studies have shown the use of alternative cultivation media in the production of phytases: oats in the production of phytase by *Kodamaea ohmeri* (Li et al., 2008), olive residues in the production of phytase by *Aspergillus niger* (Vassilev et al., 2007), and sugarcane molasses in the production of phytase by *Sporotrichum thermophile* (Singh and Satyanarayana, 2008) and by *Pichia anomala* (Vohra and Satyanarayana, 2004). Table 1 lists the main commercial phytases available on the world market.

Product	Company	Microorganism	Fermentation
Natuphos ®	BASF ®	*A. niger*	Liquid
Allzyme phytase ®	Alltech ®	*A. niger*	Solid
Phyzame ®	Femic ®	*A. oryzae*	Liquid
Ronozyme ®	Novozyme ®	*A. oryzae*	Liquid
Finase ®	AB Enzyme ®	*A. awamori*	Liquid
Amaferm ®	Biozyme ®	*A. oryzae*	Liquid
Bio-Feed Phytase ®	DSM ®	*Peniophora lycii*	Liquid

Table 1. Examples of commercial phytases available on the world market

The next stage in production is purification, which involves a set of processes that remove contaminants to obtain a product with a high degree of purity. Enzymes are purified by successive physicochemical methods, and the purification of phytases normally involves ultrafiltration, centrifugation, gel filtration, separation by chromatographic column, or even partial purification by ammonium sulfate precipitation. Fractionation according to solubility in ammonium sulfate solutions is widely used in protein isolation because it provides preparations with a lower degree of contamination and is more concentrated in proteins of interest (Ries, 2010).

The recovery of microbial enzymes, whether from plants or animals, is a complex step in the process of obtaining a biotechnological product because purification techniques depend on the specific molecular characteristics of each enzyme. During the purification process, enzymatic stability, purification efficiency, activity yield, and degree of purity must be considered. However, there are industrial enzymes whose application does not require a high degree of purity; therefore, chromatographic operations are not necessary because a simple concentration of the fermentation medium is sufficient for the commercialization of the bioproduct (Salmon, 2011).

Several methods for purifying phytases have been described in the literature, such as Spier et al. (2011), who used ion exchange chromatography followed by chromatofocalization. Greiner et al. (2009) used the following phytase purification methods: ammonium sulfate precipitation, molecular exclusion chromatography, ion exchange chromatography, and gel filtration chromatography. Guo et al. (2007) performed microfiltration and ion exchange chromatography.

Described in the literature are studies on the purification and characterization of phytases from different sources of origin, such as *Aspergillus ficcum* NRRL 3135 (Ullah and Gibson, 1986); *Schwanniomyces castelli* (Segueilha et al., 1992); *Bacillus subtilis* (Shimizu,

1993); *Bacillus sp.* DS11 (Kim et al., 1998); *Arxula adeninivorans* (Sano et al., 1999); *Peniophora lycci, Agrocybe pediades, Ceriporia sp.* and *Trametes pubescens* (Lassen, et al., 2001); *Pichia anomala* (Vohra and Satyanarayana, 2002); *Rhyzopus oligosporus* (Casey and Walsh, 2003); *Lilium longiflorum* (Garchow et al., 2006); *Aspergillus niger* (Casey and Walsh, 2003; Vats and Banerjee, 2006); and *Yersinia intermedia* (Huang et al., 2006).

Phytases generally have a molecular mass between 40 and 100 KDa and an optimal activity temperature between 45° - 60°C (Pandey et al., 2001). Most plant enzymes are denatured at temperatures above 70°C, whereas enzymes of microbial origin remain with significant activity after incubation periods of more than 3 hours (Konietzny and Greiner, 2002). Phytases isolated from *A. fumigatus* (Pasamontes et al., 1997) and *S. castellii* (Segueilha et al., 1992) have been reported to be resistant to high temperatures, i.e., they are thermotolerant (Ries, 2010). Table 2 describes the in vitro properties of some phytases of microbial origin.

Origin	Commercial name	pH stability (% activity)	optimal pH	Optimum temperature (°C)	Reference
-	Natuphos ®	2.5 - 6 (50 – 100%)	5.5	50	Igbasan et al., 2000
-	Ronozyme ®	3.5 – 5.0 (80%)	4.5	50	Igbasan et al., 2000
-	Ronozyme ®	4.0 – 4.5 (100%)	-	-	Brejnholt et al., 2011
-	Ronozyme ®	3.0 (35%)	-	-	Brejnholt et al., 2011
-	HiPhos ®	3.0 – 5.0 (70%)	3.5	-	Brejnholt et al., 2011
-	HiPhos ®	3.0 – 4.5 (90%)	3.5	-	Brejnholt et al., 2011
E.coli	-	3.5 – 5.5 (60%)	4.5	60	Igbasan et al., 2000
Bacillus sp.	-	5.5 – 7.5 (70%)	7.0	60	Igbasan et al., 2000

Table 2. *In vitro* properties and biochemical characteristics of commercial phytases of microbial origin

Among the phytases, most are active within the pH range 4.5–6.0 and can be classified according to the optimum pH for enzymatic activity, and act at pH around 5.0 (acidic) or 8.0 (alkaline). The stability of plant phytases decreases at pH values below 4 or above 7.5, whereas most phytases of microbial origin maintain activity between pH values below 3.0 and above 8.0. This large difference in their optimum pH values can be partially or fully reflected in the variation of the molecular structure or stereospecificity of the enzyme depending on the source of origin (Konietzny and Greiner, 2002).

Despite the availability of different commercial phytases, work must be developed to investigate the existence of new microbial sources that produce phytases, without the need for gene alteration, becoming frequent in the search for characteristics such as thermostability and acid stability.

CATALYTIC PROPERTIES OF PHYTASES

Phytases have been isolated and characterized from plants and various microorganisms, and depending on the optimum pH of the enzyme, they can be classified into acidic phytases and alkaline (basic) phytases. Owing to the acidic environment in the GIT of non-ruminant animals, there is a greater interest in phytases with an acidic profile. Acidic phytases are subdivided into 3 (three) structurally different groups: acidic histidine phosphatases, β-propeller phytases, and purple acidic phosphatases (Lei et al., 2007).

Phytases can recognize phytic acid as a substrate, which coincides with the non-hydrolyzing properties of non-specific phosphatases. In general, most enzymes belong to the histidine acid phosphatase (HAP) family, which is characterized by a conserved active site RHGXRXP and a catalytically active dipeptide HD (Ries, 2010). These phosphatase enzymes rarely have a similar structure, and the cleavage of phosphate groups is not performed by the same mechanism. This group of enzymes catalyzes the hydrolysis of phytic acid in two steps: nucleophilic attack of histidine from the active site of the enzyme on the phosphoester bond of phytic acid, which is easier to hydrolyze, and protonation of the remaining group by the aspartic acid residue of HD (Ostanin et al., 1992).

Xiang et al. (2004) determined the three-dimensional structure of phytase produced by Aspergillus fumigatus by crystallography. The enzyme has a small α domain and a large α/β domain in its molecular structure. The small α-helical domain consists of a central α-helical structure surrounded by seven α-helices. Relative to the large α/β domain, the β-sandwich filament forms the core structure, with two long α-helices on the opposite side. The conserved amino acid residues, the catalytic motif 58RHGARXP64, and the substrate binding motif 338HD339 are located between the large α/β domain and the small α domain.

It is worth highlighting another group of acid phytases, the β-propeller phytases, which have a three-dimensional conformation called β-propeller, which are dependent on calcium for their catalytic activity, such as the phytases produced by *Bacillus subtillis* and *B. amyloliquefaciens*. These phytases have two binding sites with the substrate, and hydrolysis is performed in the catalytic site itself (Monteiro, 2011).

Purple acid phosphatases are phytases classified as metalloenzymes with an iron or zinc atom in their catalytic site. There are examples of phytases from this group, including the phytases isolated from soybean (*Glycine max*) and the phytase produced by *A. niger* NRRL 3135. This group of phytases has lower catalytic activity than the group of acidic histidine phytases (Monteiro, 2011).

CONCLUSION

In short, the potential of phytase enzymes for application in the animal nutrition industry, especially in poultry and pig diets, is remarkable. The results presented in this literature review point to the feasibility of producing phytases in various industrial processes using microorganisms to improve nutritional efficiency, especially in the use of phytic phosphorus for non-ruminant animals.

REFERENCES

BINDU, S.; SOMASHEKAR, D.; JOSEPH, R. **A comparative study on permeabilization treatments for *in situ* determination of phytase of *Rhodotorula gracilis*.** Letters Applied Microbiology 27(6): 336-340, 1998. doi: https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.1998.00451.x

CASEY, A.; WALSH, G. **Purification and characterization of extracellular phytase from *Aspergillus niger* ATCC 9142**. Bioresource Technology 86(2): 183-188, 2003. doi: https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00145-1

DASGUPTA, S.; DASGUPTA, D.; SEN, M.; BISWAS, S.; BISWAS, BB. **Interaction of myoinositoltriphosphate-phytase complex with the intracellular Ca2+ mobilization in plants**. Biochemistry 35(15): 4994-5001, 1996. doi: https://doi.org/10.1021/bi9525233

ENGELEN, A.J.; VAN DER HEEFT, F.C.; RANDSDORP, P.H.G.; SMTT, L.C. **Simple and Rapid Determination of Phytase Activity**. Journal of AOAC International 77(1): 760-764, 1994. doi: https://doi.org/10.1093/jaoac/77.3.760

Fireman, A.K.B.A.T.; Fireman, F.A.T. **Fitase na alimentação de poedeiras**. Revista Ciência Rural 28(3): 529-534, 1998. doi: https://doi.org/10.1590/S0103-84781998000300029

FISKE, C.H.; SUBBAROW, Y. **The colorimetric determination of phosphorus**. Journal of Biological Chemistry 66(2): 375-400, 1925. doi: https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)84756-1

GARCHOW, B.G.; JOG, S.P.; MEHTA, B.D.; MONOSSO, J.M.; MURTHY, P.P.N. **Alkaline phytase from *Lilium longiflorum:* Purification and structural characterization**. Protein Expression and Purification 46(2): 221-232, 2006. doi: https://doi.org/10.1016/j.pep.2005.07.031

GOURLEY, K M.; WOODWORTH, J.C.; DEROUCHEY, J.M.; DRITZ, S.S.; TOKACH, M.D.; GOODBAND, R.D. **Determining the available phosphorus release of Natuphos E 5,000 G phytase for nursery pigs.** Journal of Animal Science, 96(3): 1101–1107, 2018. doi: https://doi.org/10.1093/jas/sky006

GREINER, R.; SILVA, L.G.; COURI, S. **Purification and characterization of an extracellular phytase from *Aspergillus niger* 11T53A9**. Brazilian Journal of Microbiology 40(4): 795-807, 2009. doi: https://doi.org/10.1590/S1517-83822009000400010

GUO, M.J.; ZHUANG, Y.P.; CHU, J.; ZHANG, S.L.; XIONG, A.S.; PENG, R.H.; YAO, Q.H. **Production and purification of a novel thermostable phytase by *Pichia pastoris* FPHY34**. Process Biochemistry 42(12): 1660-1665, 2007. doi: https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.09.003

HUANG, H.; HUIYING, L.; YANG, P.; MENG, K.; WANG, Y.; YUAN, T.; BAI, Y.; YAO, B. **A novel phytase with preferable characteristics from *Yersinia intermedia*.** Biochemical and Biophysical Research Communications 350(4): 884-889, 2006. doi: https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.09.118

JOUDAKI, H.; ARIA, N.; MORAVEJ, R.; YAZDI, M.R.; EMAMI-KARVANI, Z.; HAMBLIN, M.R. **Microbial Phytases: Properties and Applications in the Food Industry.** Current Microbiology 80(12): 374, 2023. doi: https://doi.org/10.1007/s00284-023-03471-1

KIM, Y.O.; KIM, H.K.; BAE, K.S.; YU, J.H.; OH, T.K. **Purification and properties of a thermostable phytase from Bacillus sp. DS11.** Enzyme and Microbial Technology 22(1): 2–7, 1998. doi: https://doi.org/10.1016/S0141-0229(97)00096-3

KONIETZNY, U.; GREINER, R. **Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases).** International Journal of Food Science & Technology 37(1): 791-812, 2002. doi: https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00617.x

KORNEGAY, E.T. **Effect of phytase on the bioavailability of phosphorus, calcium, amino acids, and trace minerals in broilers and turkeys**. BASF Technical Symposium World Congress Center, Atlanta, Georgia. January 23, 1996, p. 39- 70,1996.

KRISHNA, C.; NOKES, S.E. **Influence of inoculum size on phytase production and growth in solid-state fermentation by Aspergillus niger.** Trans. ASABE 44(4): 1031-1036, 2001. Available at: https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1106&context=bae_facpub

LASSEN, S.F.; BREINHOLT, J.; OSTERGAARD, P.R.; BRUGGER, R.; BISCHOFF, A.; WYSS, M.; FUGLSANG, C.C. **Expression, gene cloning, and characterization of five novel phytases from four basidiomycete fungi: *Peniophora lycci, Agrocybe pediades, Ceriporia* sp., and *Trametes pubescens*.** Applied and Environmental Microbiology 67(10): 4701- 4707, 2001. doi: https://doi.org/10.1128/AEM.67.10.4701-4707.2001

LEI, X.G.; PORRES, J.M.; MULLANEY, E.J.; BRINCH-PEDERSEN, H. **Phytase: Source, Structure and Application.** In: Polaina, J., MacCabe, A.P. (eds) Industrial Enzymes. Springer, Dordrecht. 505-529, 2007. doi: https://doi.org/10.1007/1-4020-5377-0_29

LI, X.Y.; LIU, Z.Q.; CHI, Z.M. **Production of phytase by a marine yeast Kodamaea ohmeri BG3 in an oats medium: Optimization by response surface methodology**. Bioresource Technology 99(14): 6386-6390, 2008. doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.065

META, A.; NAKATAKE, H.; IMAMURA, T.; NOZAKI, C.; SUGIMURA, K. **High-yield production and characterization of biologically active recombinant aprotinin expressed in *Saccharomyces cerevisiae*.** Protein Expression and Purification 66(1): 22-27, 2009. doi: https://doi.org/10.1016/j.pep.2009.02.005

MONTEIRO, P.S. **Produção e Caracterização Bioquímica de Fitases de *Rhizopus stolonifer* e *Aspergillus niger* UFV-1 e suas aplicações em ração animal.** Tese (Doctor Scientiae). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011. Available at: https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/305/1/texto%20completo.pdf

MROZ, Z.; JONGBLOED, A.W., KEMME, P.A. **Apparent digestibility and retention of nutrients bound to phytate complexes as influenced by microbial phytase and feeding regimen in pigs.** Journal of Animal Science 72 (1): 126-132, 1994. doi: https://doi.org/10.2527/1994.721126x

NASCIMENTO, J.C.S.; RIBEIRO, A.G.; SILVA, D.A.; TEIXEIRA, J.A.C.; PORTO, T.S.; PORTO, A.L.F. U**tilização do sistema de duas fases aquosas para extração e purificação de fitases aplicada à nutrição animal.** Avances científicos y tecnológicos en ciencias agrícolas. 3ed. Ponta Grossa: Atena Editora 1: 7-50, 2023. doi: https://doi.org/10.22533/at.ed.11523101016

NEZHAD, N.G.; RAJA ABD RAHMAN, R.N.Z.; NORMI, Y.M.; OSLAN, S.N.; SHARIFF, F.M.; LEOW, T.C. **Integrative Structural and Computational Biology of Phytases for the Animal Feed Industry.** Catalysts 10(8): 844, 2020. doi: https://doi.org/10.3390/catal10080844

OAKLEY, A.J. **The structure of Aspergillus niger phytase PhyA in complex with a phytate mimetic.** Biochemical and Biophysical Research Communications 397(4): 745-749, 2010. doi: https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2010.06.024

OSTANIN, K.; HARMS, E.H.; STEVIS, P.E.; ZHOU, M.; VAN ETTEN, R.L. **Overexpression, site-directed mutagenesis and mechanism of Escherichia coli acid phosphatase.** Journal of Biological Chemistry 267(32): 22830-22836, 1992. doi: https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)50022-3

PANDEY, A.; SZKACKS, G.; SOCCOL, C.R.; RODRIGUEZ-LEON, J.A; SOCCOL, V.T. **Production, purification and properties of microbial phytases**. Bioresource Technol 77(3): 203-214, 2001. doi: https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00139-5

PASAMONTES, L.; HAIKER, M.; WYSS, M.; TESSIER, M.; LOON, A.P.G.M. **Gene cloning, purification, and characterization of a heat-stable phytase from the fungus *Aspergillus fumigatus*.** Applied and Environmental Microbiology 63(5): 1696-1700, 1997. doi: https://doi.org/10.1128/aem.63.5.1696-1700.1997

RAMACHANDRAN, S.; ROOPESH, K.; NAMPOOTHIRI, K.M.; SZAKACS, G.; PANDEY, A. **Mixed substrate fermentation for the production of phytase by *Rhizopus* spp. using oilcake as substrates.** Process Biochem 40(5): 1749-1754, 2005. doi: https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.06.040

RIES, E.F. **Estudo da produção, caracterização e aplicação de nova fitase de *Saccharomyces cerevisiae*.** Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2010. Available at: https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/773707

RODRIGUES, E.J.D.; ITO, P.I.; RIBEIRO, L.F.M.; CARVALHO, P.L.P.F.; XAVIER, W.S.; GUIMARÃES, M.G.; FERNANDES JUNIOR, A.C.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. **Phytase Supplementation under Commercially Intensive Rearing Conditions: Impacts on Nile Tilapia Growth Performance and Nutrient Digestibility.** Animals 13(1), 136. 2023. doi: https://doi.org/10.3390/ani13010136

ROOPESH, K.; RAMACHANDRAN, S.; NAMPOOTHIRI, M.; SZAKACS, G.; PANDEY, A. **Comparison of phytase production on wheat bran and oilcake in solid-state fermentation by *Mucor racemosus*.** Bioresource Technology 97(3): 506-511, 2006. doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.046

SALMON, D.N.X. **Desenvolvimento de um bioprocesso para a produção, caracterização e recuperação da fitase de *Schizophyllum commune* obtida por fermentação em estado sólido.** Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Available at: https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/26974

SANO, K.; FUKUHARA, H.; NAKAMURA, Y. **Phytase of the yeast *Arxula adeninivorans*.** Biotechnology Letters 21: 33-38, 1999. doi: https://doi.org/10.1023/A:1005438121763

SEGUEILHA, L.; LAMBRECHTS, C.; BOZE, H.; MOULIN, G.; GALZY, P. **Purification and properties of the phytase from *Schwanniomyces Castelli*.** Journal of Fermentation and Bioengineering 74(1): 7-11, 1992. doi: https://doi.org/10.1016/0922-338X(92)90259-W

SELLE, P.H.; RAVINDRAN, V. **Microbial phytase in poultry nutrition**. Animal Feed Science and Technology 135(1): 1-41, 2007. doi: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.010

SELLE, P.H.; WALKER, A.R.; BRYDEN, W.L. **Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry.** Animal Production Science 43: 475-479, 2003. doi: https://doi.org/10.1071/EA02155

SHIMIZU, M. **Purification and characterization of phytase and acid phosphatase produced by *Aspergillus oryzae* K1**. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 57(8): 1354-1365, 1993. doi: https://doi.org/10.1271/bbb.57.1364

SINGH, B.; SATYANARAYANA, T. **Phytase production by a thermophilic mold Sporotrichum thermophile in solid-state fermentation and its potential applications**. Bioresource Technology 99(8): 2824-2830, 2008. doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.010

SPIER, M.R.; SCHEIDT, G.N.; PORTELLA, A.C., RODRÍGUEZ-LEÓN, J.A., WOICIECHOWSKI, A.L.; GREINER, R.; SOCCOL, C.R. **Increase in Phytase Synthesis During Citric Pulp Fermentation**. Chemical Engineering Communications 198: 286-297, 2011. doi: https://doi.org/10.1080/00986445.2010.493115

SUZUKI, U.; YOSHIMURA, K.; TAKASHI, M. **Ueber ein Enzym, "Phytase" das "Anhydro-Oxymwthylen diphosphorsaure" Spaltet**. Tokyo Imper. Univ. Coll. Bull., v.7, p.503-512, 1908. Available at: https://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/9548/file/E001647381_2.pdf

ULLAH, A.H.L.; GIBSON, D.M. **Purification and characterization of acid phosphatase from cotyledons of germinating soybean seeds.** Arch Biochem Biophys 260(2): 514-520, 1986. doi: https://doi.org/10.1016/0003-9861(88)90476-6

VASSILEV, N.; VASSILEVA, M.; BRAVO, V.; FERNANDEZ-SERRANO, M.; NIKOLAEVA, I. **Simultaneous phytase production and rock phosphate solubilization by *Aspergillus niger* grown on dry olive wastes**. Industrial Crops and Products 26(3): 332-336, 2007. doi: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.04.003

VATS, P.; BANERJEE, U.C. **Catalytic characterization of phytase (myo-inositol hexakisphosphate phosphohydrolase) from *Aspergillus niger* van Teighem: Glycosylation pattern, kinetics and molecular properties**. Enzyme and Microbial Technology 39: 596-600, 2006.

VATS, P.; BANERJEE, U.C. **Production studies and catalytic properties of phytases (myo-inositol hexakisphosphate phosphohydrolases): an overview**. Enzyme and Microbial Technology 35(1): 3-14, 2004. doi: https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.03.010

VOHRA, A.; SATYANARAYANA, T. **A cost-effective cane molasses medium for enhanced cell-bound phytase production by Pichia anomala**. Journal of Applied Microbiology 97(3): 471-476, 2004. doi: https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02327.x

VOHRA, A.; SATYANARAYANA, T. **Phytase production by the yeast *Pichia anomala*.** Biotechnology Letters 13: 551-554, 2002. Available at: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010314114053

XIANG, T.; LIU, Q.; DEACON, A.M.; KOSHY, M.K.; LEI, X.G.; HAO, Q.; THIEL, D.J. **Crystal structure of a heat-resilient phytase from *Aspergillus fumigatus*, carrying a phosphorylated histidine**. Journal of Molecular Biology 339(2): 437-445, 2004. doi: https://doi.org/10.1016/j.jmb.2004.03.057

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA POR COLORÍMETRO DIGITAL DA COR DA MORTADELA DEFUMADA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE MADEIRAS PARA DEFUMAÇÃO

Data de aceite: 01/04/2024

Ligiani Zonta Danielli
Discente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do IF Goiano - Campus Rio Verde

Marco Antônio Pereira Silva
Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do IF Goiano - Campus Rio Verde

Rogério Favareto
Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do IF Goiano - Campus Rio Verde

RESUMO: Objetivou-se avaliar a aplicação das madeiras de faia (*Fagus sylvatica* L), pinus (*Pinus chiapensis*) e eucalipto (*Eucalyptus*) na defumação de mortadela, para avaliação da cor de forma quantitativa por colorímetro digital, no tempo zero e com 60 dias de *shelf life*. As amostras foram produzidas de acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instrução Normativa n. 04 de 31 de março de 2000 e defumadas de forma escalonada utilizando os cavacos das madeiras faia, carvalho e pinus. Os testes foram avaliados no tempo zero (0) e 60 dias de produção (*shelf life* de 60 dias com na base mortadela defumada comercializada no mercado brasileiro). As medições de cor foram realizadas em triplicata com o aparelho previamente calibrado, usando a superfície da mortadela, no tempo de inicial de fabricação chamado de T0 (tempo zero) e como 60 dias de fabricação chamado de T60. As amostras de mortadela defumada com eucalipto diferiram entre si com relação às características instrumentais de cor, sendo que a luminosidade da amostra de pinus apresentou diferença entre eucalipto e faia nos dois tempos avaliados e para os valores de a* e b* a amostra de mortadela defumada com cavaco de eucalipto diferiu em relação ao cavaco de pinus e faia no tempo zero e com 60 dias de shelf life.

PALAVRAS-CHAVE: Colorimetria; Defumado; Fumaça; Madeira; Mortadela.

INTRODUÇÃO

A fumaça vem ganhando espaço crescente no mercado nos últimos tempos em relação ao sabor e aroma diferenciados, principalmente com a utilização de madeiras frutíferas ou madeiras que fornecem aromas específicos às carnes ou

produtos cárneos como as mortadelas (DANIELLI et al., 2022). A qualidade da fumaça é muito importante quando o sabor é o principal efeito desejado (SELANI et al., 2016), é recomendada a utilização de madeiras duras, já que as madeiras moles poderão proporcionar sabores residuais não desejados (MALARUT; VANGNAI, 2018). O tipo de madeira afetará a mistura de gases gerados pela fumaça pois a composição da madeira varia em quantidades de hemicelulose, celulose e lignina, que são as fontes de muitos gases produzidos.

Assim, o tipo de madeira utilizada (HUANG, 2019), a temperatura, a umidade, tipo de geradores (SIKORSKI; KOLAKOWSKI, 2010), tempo (DANIELLI et al., 2022) em que a fumaça é gerada afetam a composição e nas propriedades do produto defumado. Lascas de madeira de frutas também são usadas para defumar produtos de carne, e seu aroma pode transmitir sabores característicos, únicos aos produtos de carne (HITZEL et al., 2013). Além disso, a composição química da fumaça influencia na formação de compostos voláteis e nas características físico-químicas e sensoriais do produto (SOLADOYE et al., 2017). As madeiras de árvores frutíferas são boas para defumação (LIU et al., 2018) e madeiras duras livre de resina e produtos químicos podem ser utilizadas para defumar alimentos.

O campo da análise sensorial cresceu e se transformou em uma ferramenta de grande importância e auxílio dentro das indústrias de alimentos (SCHLICH, 2017). A avaliação sensorial compreende um conjunto de técnicas para a medição precisa das respostas humanas aos alimentos e produtos não-alimentares, minimiza potencialmente os efeitos da marca e outras influências da informação sobre a percepção do consumidor (HUTCHINGS et al., 2014).

A análise sensorial tenta isolar as propriedades sensoriais dos próprios alimentos e fornece informações importantes e úteis para os desenvolvedores de produtos, cientistas de alimentos e gerentes sobre as características sensoriais de seus produtos (LAWLESS; HEYMANN, 2010). As técnicas sensoriais constituem-se de ferramentas muito importantes para a indústria alimentícia, cosmética, entre outras, por avaliar a aceitabilidade mercadológica e qualidade do produto, sendo inseparável ao plano de controle de qualidade da indústria (GALMARINI et al., 2016). A avaliação quantitativa da cor é uma das ferramentas utilizadas e que foi abordada neste estudo.

A avaliação quantitativa da cor refere-se ao que pode ser quantificável por meio de números e informações. Com esta análise é capaz de obter dados a respeito do comportamento da aplicação de diferentes madeiras na mortadela e a realizar seus processos de forma mais assertiva e uniforme. Cada aplicação possui uma cor esperada que está associada às reações pessoais de aceitação, indiferença ou rejeição. Se ele espera que o produto tenha determinada cor, por exemplo, poderá ocorrer extrema relutância caso exista diferença de tonalidade ou intensidade desta (FERREIRA et al., 2000).

O objetivo do presente estudo foi avaliar de forma quantitativa por colorímetro digital a cor da mortadela defumada utilizando as madeiras de faia (*Fagus sylvatica* L), pinus (P*inus chiapensis*) e eucalipto (*Eucalyptus*) para defumação no tempo zero e com 60 dias de *shelf life*.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção das Amostras

As madeiras foram recebidas de fornecedores homologados parceiros da empresa de alimentos onde foram realizados os testes. Os cavacos das madeiras foram recebidos em sacos de 15,0 kg e com granulometria entre 3,0 a 8,0 mm. O teor de umidade foi determinado seguindo a metodologia descrita pela ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003b), através da relação entre massa seca em micro-ondas. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

As mortadelas foram produzidas de acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) Instrução Normativa n. 04 de 31 de março de 2000. O cozimento da mortadela foi realizado de forma escalonada. Segundo Sikorski ; Kolakowski, (2010) a temperatura da defumação afeta as propriedades sensoriais e o efeito conservante, o ideal para defumação a quente são as temperaturas de 23°C a 45°C, também na defumação a quente ocorre a desnaturação térmica das proteínas da carne sendo necessária a temperatura da fumaça durante as várias etapas do processo variando entre 50°C a 90°C. Desta forma, foram utilizadas etapas de secagem (para remover a umidade superficial da mortadela), defumação (etapa aonde a fumaça foi aplicada) e cozimento até o produto atingir temperatura interna de 72°C. Após cozimento o produto seguiu para câmaras de resfriamento até atingir temperatura próxima a 25°C e por fim o produto foi embalado em saco plástico termoencolhivel com extração de ar.

As peças de mortadela defumada foram encaminhadas para avaliação no tempo zero (0) de fabricação e mantidas a temperatura de 25°C. As demais peças foram armazenadas fechadas em caixa, em sala com temperatura ambiente controlada (25 °C ±5 °C), sendo esta a temperatura de comercialização da mortadela de acordo com o Ofício - circular n° 005 de 2015 da CGI/DIPOA/SDA.

As amostras foram avaliadas no tempo zero e 60 dias de produção (*shelf life* de 60 dias, com base na mortadela defumada comercializada no mercado brasileiro).

Análise Colorimétrica

A quantificação de cor foi realizada através do colorímetro da Marca Minolta®, Modelo CR 400, com iluminante D65 e ângulo de visão de 10°. Os valores de L* (luminosidade), a* (componente vermelho-verde) e b* (componente amarelo-azul) estão expressos conforme o sistema de cor da Commission Internationale de L'Eclairage (CIELAB) (MINOLTA, 1998). As medições foram realizadas em triplicata com o aparelho previamente calibrado, usando a superfície da mortadela, no tempo inicial de fabricação chamado de T0 (tempo zero) e com 60 dias de fabricação chamado de T60.

Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com teste F. Obtendo-se significância no teste F ao nível de 5%, prosseguiu-se a análise estatística dos dados com a aplicação do teste Scott-Knott.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de cor das amostras estão apresentados na tabela 1, verificou-se que houve efeito significativo da interação entre o tempo e tratamento para L, a* e b*.

Tratamentos	Tempo	
	0	60
	L	
Eucalipto	47,07 Aa	44,99 Cb
Faia	48,07 A	51,34 B
Pinus	44,74 B	50,63 B
	a*	
Eucalipto	19,29 Aa	18,88 Ab
Faia	19,13 A	18,83 A
Pinus	19,76 A	17,75 B
	b*	
Eucalipto	21,63 Aa	17,83 Bb
Faia	20,45 Ab	22,08 Aa
Pinus	19,61 B	21,17 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p>0,05). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott (p>0,05).

T0: tempo zero; T60: 60 dias de *shelf life.*

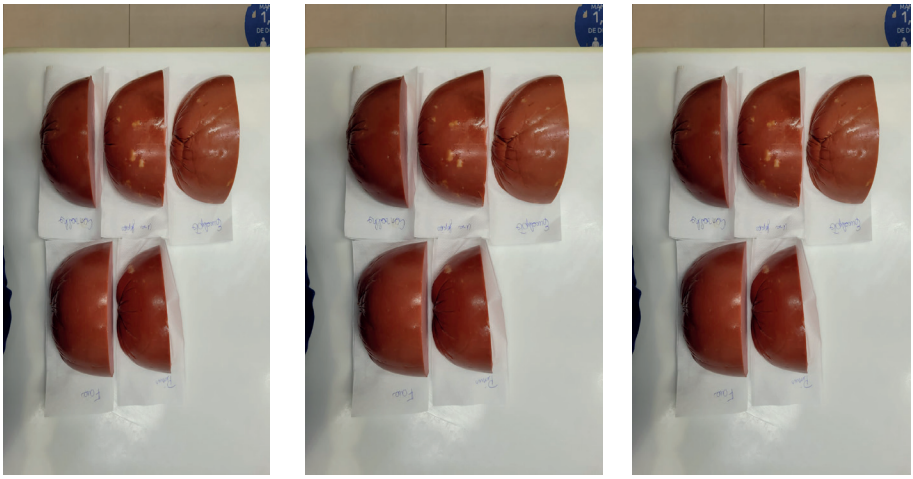
Tabela 1. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros L*, a* e b* da mortadela defumada com diferentes cavacos.

O parâmetro L* indica a luminosidade e se refere à capacidade do objeto em refletir ou transmitir luz, variando numa escala de zero a 100. Quanto maior o valor de L*, mais claro o objeto. O parâmetro a* refere-se à contribuição das cores verde (-) vermelho (+) e o parâmetro b* às cores azuis (-) amarelo (+).

Na avaliação das amostras das mortadelas defumadas no tempo zero observa-se para os valores de L* que o cavaco de eucalipto e de faia não diferiram entre si, já a amostra defumada com pinus diferiu (p≥0,05) em relação as demais amostras. A coloração não diferir entre as peças é considerada positiva, pois a cor é uniforme entre as amostras sem

diferenças mesmo utilizando diferentes tipos de madeira. No tempo de 60 dias a amostra defumada com cavaco de eucalipto apresentou diferença significativa quando comparado com pinus e faia. Para o valor de a* os valores para a aplicação do cavaco de pinus, faia e eucalipto no tempo zero não obtiveram diferenças significativas ($p \geq 0,05$), já na segunda avaliação com 60 dias a amostra com aplicação de cavaco de pinus apresentou diferenças significativa para o valor de a* quando comparada com amostras de faia e pinus. Entre as amostras de faia e pinus não houve diferença significativa. Em relação ao valor de b* observa-se no tempo zero que as amostras com aplicação do cavaco de eucalipto, faia não diferiram entre si e na avaliação de 60 dias a amostra de eucalipto obteve valor de diferença ($p \geq 0,05$) em relação as amostras de faia e pinus.

Na Figura 1 estão apresentadas a coloração da mortadela defumada no tempo zero com aplicação dos cavacos de eucalipto, faia e pinus.



A B C

Figura 1. Avaliação da cor da mortadela defumada no tempo zero. A - Superfície da mortadela defumada com eucalipto. B - Superfície da mortadela defumada com faia. C - Superfície da mortadela defumada com pinus.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mortadelas defumadas com eucalipto apresentaram diferenças entre si com relação às características instrumentais de cor. Para o valor de L* a amostra de pinus apresentou diferenças entre o eucalipto e faia nos dois tempos avaliados e para os valores de a* e b* a amostra de mortadela defumada com cavaco de eucalipto apresentou valores de diferenças significativos em relação ao cavaco de pinus e faia no tempo zero e com 60 dias de *shelf life*. Os valores encontrados durante o estudo, na aplicação das madeiras de faia, eucalipto e pinus durante o tempo zero e após 60 dias de *shelf life* se devem à

composição química da madeira (SOLADOYE et al., 2017), caramelização e reações de *Maillard* entre os componentes da fumaça e os componentes dos alimentos (GANGOLI, 1990) bem como a temperatura de combustão da madeira, a quantidade de vapor de água disponível (ou umidade do gerador de fumaça e do cavaco utilizado), a quantidade de oxigênio presente, a taxa de fluxo de ar e o tempo de defumação que pode afetar a composição da fumaça (LEDESMA et al., 2017). Malarut ; Vangnai (2018) encontraram em sua pesquisa que as diferenças no valor de L*, valor a* e valor b* entre as linguiças defumadas com diferentes lascas de madeira estavam associadas aos teores de celulose e hemicelulose nas lascas de madeira, Soladoye et al., (2017) relataram que a composição química da fumaça influencia na formação de compostos voláteis e nas características físico-químicas e sensoriais do produto, dentre estas a cor (YANG ; CHIANG, 2019).

O processo de defumação de um produto é muito complexo, exercendo influência sobre as características das amostras, a avaliação quantitativa por colorímetro digital é mais uma ferramenta que vem para auxiliar na mensuração da cor do produto, facilitando a obtenção das cores especificas das diferentes aplicações e interfaces do processo deixando o produto final de forma padronizada e seguro.

AGRADECIMENTOS

A empresa BRF e ao IF Goiano por oportunizar o estudo e desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos – Método por secagem em estufa. **NBR 14929.** Rio de Janeiro, 2003a.

BRASIL. Instrução Normativa n.4, de 31 de março de 2000. Aprova os regulamentos técnicos de identidade e qualidade de carne mecanicamente separada, de mortadela, de linguiça e de salsicha. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p.6, 05 abr. 2000. Seção 1

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Laboratório Nacional de Referência Animal**. Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes: II – Métodos físicos e químicos. Brasília, 1981.

DANIELLI, L. Z.; VIANA, A. S. T.; HONORIO, J. S.; LIRA, M. M.; FAVARETO, R.; BECKER, W. B.; SILVA, M. A. P. A fumaça gourmetizada está na moda! **Portal e-food**, SP. 2022. https://portalefood.com.br/artigos/a-fumaca-gourmetizada-esta-na-moda.

GANGOLLI, S. Smoke in food processing: Edited by **JA Maga**. Florida, pp. 160, 1990.

GALMARINI, M. V.; LOISEAU, A. L.; VISALLI, M.; SCHLICH, P. Use of Multi-Intake Temporal Dominance of Sensations (TDS) to Evaluate the Influence of Cheese on Wine Perception. **Journal of food science**, v. 81, n. 10, p. S2566–S2577, 2016. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13500.

HITZEL, A.; PÖHLMANN, M.; SCHWÄGELE, F.; SPEER, K.; JIRA, W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in meat products smoked with different types of wood and smoking spices. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1–4, p. 955–962, 2013. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.011.

HUANG, J.; FU, S.; GAN, L. **Lignin Chemistry and Applications**. Elsevier, 2019.

HUTCHINGS, S. C.; FOSTER, K.D.; GRIGOR, J.M.V.; BRONLUND, J.E.; MORGENSTERN, M.P. Temporal dominance of sensations: A comparison between younger and older subjects for the perception of food texture. **Food Quality and Preference**, v. 31, n. 1, p. 106–115, 2014. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.08.007.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory Evaluation of Food: principles and practices**. 2. ed. New York, NY: Springer New York, 2010.

LEDESMA, E.; RENDUELES, M.; DIÁZ, M. Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. **Food Control,** v.60, p.64-87, 2017**.** https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.016.

LIU, Y.; KUMAR, M.; KATUL, GG. A.; PORPORATO, A. Reduced resilience as a potential early warning signal of forest mortality. **Ecological Society of America Annual Meeting***, New Orleans, Louisiana, 2018.*

MALARUT, J.; VANGNAI, K. Influence of wood types on quality and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) of smoked sausages. **Food Control**, v. 85, p. 98–106, 2018. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.09.020.

SCHLICH, P. Temporal Dominance of Sensations (TDS): a new deal for temporal sensory analysis. **Current Opinion in Food Science**, v. 15, n. 17, p. 38–42, 2017. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.05.003.

SIKORSKI, Z. E.; KOLAKOWSKI, E. Smoking. In: TOLDR, F. (Ed.). **Handbook of Meat Processing**. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, p. 231–246, 2010.

SOLADOYE, O. P.; SHAND, P.; DUGAN, M.E.R.; GARIÉPY, C.; AALHUS, J. L.; ESTÉVEZ, M.; JUÁREZ, M. Influence of cooking methods and storage time on lipid and protein oxidation and heterocyclic aromatic amines production in bacon. **Food Research International**, v. 99, p. 660–669, 2017. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.029.

YANG, K. M., CHIANG, P. Y. Effects of smoking process on the aroma characteristics and sensory qualities of dried longan. **Food Chemistry**, v. *287*, p. 133-138, 2019. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.017.

CONSUMO HÍDRICO DA LIMA ÁCIDA THAITI IRRIGADA POR GOTEJAMENTO EM DELMIRO GOUVEIRA, AL

Data de aceite: 01/04/2024

José Maria Pinto
Eng. Agric. D.Sc., Pesquisador Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

José Crispiniano Feitosa Filho
Eng. Agro. Prof. Dr. Universidade Federal da Paraíba-UFBP, Campus II, Areia, PB

Rebert Coelho Correia
Eng. Agro. Pesquisador Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

RESUMO: Na região semiárida, o cultivo da lima ácida 'Tahiti' está em crescimento, abrangendo os grandes produtores e os agricultores da agricultura familiar, devido à boa aceitação da fruta no mercado interno e a grande demanda no mercado internacional. Como essa região tem a vantagem de possuir condições edafoclimáticas que possibilitam escalonar a produção ao longo do ano com o uso de irrigação, a exploração dessa espécie cítrica pode se tornar uma ótima opção para a diversificação da fruticultura. Realizou-se, no município de Delmiro Gouveia, AL, Brasil um estudo com objetivo de estudar o consumo hídrico limeira ácida 'Tahiti' [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka]. O espaçamento entre plantas nas linhas foram 1,5 metros e entre fileiras de plantas 3,0 metros. O sistema de irrigação foi o gotejamento, com duas linhas laterais por fileira de plantas, espaçamento entre emissores de 0,50 m e vazão do emissor de 4 $L.h^{-1}$, com oito emissores por planta. Emissor com vazão do gotejador de 4 L h^{-1} A lâmina de água foi calculada com base nos dados meteorológicos e coeficiente da cultura (kc). O momento da irrigação foi determinado pelo uso de tensiometria. Quantificou-se a produção e calculou-se o uso eficiente de água pela lima tahiti. A produção média de frutos por planta foi de 44 kg, correspondente a 32,6 t ha^{-1}. O consumo médio de água por planta variou de 110 L $planta^{-1}$ dia^{-1} a 130 L $planta^{-1}$ dia^{-1}. O diâmetro dos frutos variou entre 48 e 62 mm e a massa de 61 a 115 gr.

PALAVRAS-CHAVE: citros irrigados, gotejamento, uso eficiente da água.

WATER CONSUMPTION OF TAHITI ACID LIME IRRIGATED BY DRIP IN DELMIRO GOUVEIA, AL, BRAZIL

ABSTRACT: In the semi-arid region, the cultivation of 'Tahiti' lime is growing, including large producers and family farmers, due to the good acceptance of the fruit in the domestic market and the great demand in the international market. As this region has the advantage of having edaphoclimatic conditions that make it possible to stagger production throughout the year with the use of irrigation, the exploitation of this citrus species can become a great option for the diversification of fruit growing. A study was carried out in the municipality of Delmiro Gouveia, AL, Brazil, with the objective of studying the water consumption of 'Tahiti' acid lime [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka]. The spacing between plants in the rows was 1.5 meters and between rows of plants 3.0 meters. The irrigation system was drip, with two lateral lines per row of plants, the spacing between emitters of 0.50 m and emitter flow of 4.0 $L.h^{-1}$, the total emitters per plant was eight. The water quantity was calculated based on meteorological data and crop coefficient (kc). The moment of irrigation was determined using tensiometry. The efficient use of water by the Tahiti lime were calculated. The average production of fruits per plant was 44 kg, corresponding to 32.6 t ha^{-1}. The average water consumption per plant ranged from 110 L $plant^{-1}$ day^{-1} to 130 L $plant^{-1}$ day^{-1}. Fruit diameter ranged from 48 to 62 mm and mass from 61 to 115 g.
KEYWORDS: irrigated citrus, drip irrigation, water efficient use.

INTRODUÇÃO

O Brasil, com uma produção de 1,5 milhões de toneladas em 2021, ocupa a quinta posição mundial e a segunda nas Américas, na produção de limão, que é destinada notadamente para o mercado interno. Entretanto, já é significativa a exportação brasileira dessa fruta e com a ampliação dos cultivos da lima ácida 'Tahiti' [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka], a cultura torna-se a mais demandada pelos grandes mercados internacionais e a tendência é de ampliação nas exportações (IBGE, 2021).

Dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) apontam que a produção mundial do limão, incluindo a lima ácida, no ano de 2019 foi em torno de 20 milhões de toneladas. A Índia é o maior produtor dessa fruta, e forneceu, no ano de 2019, 3,5 milhões de toneladas, o que representa aproximadamente 17,4% da produção mundial (FAOSTAT, 2023). Índia, China e México constituem o maior núcleo de produção, sendo atualmente responsável por 44,37% do limão cultivado no mundo. Nesse grupo, apenas o México se destaca como grande exportador, pois a Índia e a China destinam suas produções, prioritariamente, para o mercado interno. Além desses países, destacam-se como grandes produtores a Argentina, o Brasil, a Espanha e os Estados Unidos.

O Brasil, com uma produção de 1,5 milhões de toneladas em 2019, ocupa a quinta posição mundial e a segunda nas Américas, na produção de limão, que é destinada notadamente para o mercado interno. Entretanto, já é significativa a exportação brasileira dessa fruta e com a ampliação dos cultivos da lima ácida 'Tahiti', a cultura torna-se a mais demandada pelos grandes mercados internacionais e a tendência é de ampliação nas exportações.

Na região semiárida, o cultivo da lima ácida 'Tahiti' está em crescimento, abrangendo os grandes produtores e os agricultores da agricultura familiar, devido à boa aceitação da fruta no mercado interno e a grande demanda no mercado internacional. Como essa região tem a vantagem de possuir condições edafoclimáticas que possibilitam escalonar a produção ao longo do ano com o uso de irrigação, a exploração dessa espécie cítrica pode se tornar uma ótima opção para a diversificação da fruticultura.

A transpiração das plantas da limeira ácida 'Tahiti', considerando-se a evapotranspiração potencial e coeficiente de cultura (kc), varia entre 90 L planta^{-1} dia^{-1} e 36 L planta^{-1} dia^{-1}, dependendo das condições climáticas, épocas do ano e porte da planta (Marin et al., 2002). Evidentemente, deve-se fazer adaptações para as regiões semiáridas. Essas variações no consumo de água de um pomar cítrico dependem da demanda de água pela atmosfera, que cresce, principalmente, com o aumento da radiação solar, da temperatura e da velocidade dos ventos (PIRES, 1992; COELHO et al., 2004; COELHO et al., 2007).

Anualmente necessita-se de 900 a 1.200 mm de água para produzir. A demanda hídrica varia em função da evapotranspiração, características do solo, variedade copa utilizada e variedade porta-enxerto empregada (DONATO et al., 2007).

O objetivo foi avaliar a produtividade de frutos e quantificar o uso da água da lima ácida Tahiti no município de Delmiro Gouveia, AL.

MATERIAL E MÉTODOS

Instalou-se no município de Delmiro Gouveia, AL, uma área com a combinação da limeira ácida 'Tahiti' 'Tahiti' [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka], 'CNPMF 02' com o porta-enxerto 'San Diego' totalizando meio hectare, com o objetivo de quantificar o uso eficiente de água pela lima ácida Tahiti. O espaçamento utilizado foi de 3 m x 1,5 m em solo com os seguintes atributos físicos e químicos conforme análise de solos realizada no laboratório de solo e água da Embrapa Semiárido nas camadas de 0 – 0,20 m: pH: 6,9; matéria orgânica: 22,76 g kg^{-1}; P: 27,14 mg dm^{-3}, K, Ca, Mg, H + Al, Sb: 0,2, 2,0, 1,1, 1,2, 3,4, cmolc L^{-1}, respectivamente e V: 73,7%; micronutrientes (Cu, Fe, Mn, e Zn) iguais a 1,00, 10,89, 14,78 e 15,13 mg dm^{-3} respectivamente. Na camada de 0,20 – 0,40 m os atributos determinados foram: pH: 6,5; P: 17,27 mg dm^{-3}, K, Ca, Mg, H + Al, Sb: 0,16, 1,6, 0,9, 1,2, 2,7, cmolc L^{-1}, respectivamente e V: 69,2%; micronutrientes (Cu, Fe, Mn, e Zn) iguais a 1,00, 14,79, 7,6 e 1,46 respectivamente. O teor de areia igual a 80,22; silte 16,89 e argila 2,89 %; condutividade elétrica 0,56 mS cm^{-1}.

As mudas com 5 meses de idade, provenientes de viveiro telado, certificado e registrado no Mapa foram transplantadas para o local de plantio em 10 de dezembro de 2019.

O preparo do solo consistiu em aração antes do transplantio. A adubação de plantio foi realizada mediante a análise de solo, baseada na adubação usual para a cultura dos citros.

No local de plantio definitivo foram abertas covas de 50 x 50 x 50 cm, nas quais foram aplicados 20 L de esterco e 200 g de MAP por cova.

O plantio das mudas foi realizado em seguida, observando-se para que a região de enxertia da muda ficasse acima do solo, para evitar a gomose de *Phytophtora*. Para evitar o tombamento das plantas de lima ácida Tahiti, elas forma tutoradas com varas. Semanalmente aplica-se, via fertirrigação, as doses de fertilizantes: MAP: 2,5 kg; sulfato de magnésio: 3,00kg; Zinco: 0,8 kg; nitrato de cálcio: 3,95 kg e nitrato de potássio: 5,4 kg.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, com duas linhas laterais por fileiras de plantas. No momento do transplantio foram colocados quatro gotejadores por planta e, após 1 ano, foram colocados mais quatro gotejadores, totalizando oito gotejadores por planta, com o objetivo de aumentar o volume molhado de solo e, consequentemente, proporcionar condições para o aumento do desenvolvimento do sistema radicular. Emissor com vazão do gotejador de 4 L h^{-1} A lâmina de água calculador com base nos dados meteorológicos e coeficiente de cultura (kc) variando entre variando de 0,74 a 0,84. O momento da irrigação é determinado pelo uso de tensiometria, mantendo-se a tensão da água no solo entre -30 e -50 kPa.

Na colheita, a área foi dividida em doze parcelas e quantificada a produção e calculado o uso eficiente de água pela lima Tahiti.

A produção foi submetida à análise de variância através do teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO.

A produção média por planta foi de 44 kg, corresponde a 32,6 t ha^{-1} a produtividade média da lima ácida Tahiti no município de Delmiro Gouveia, AL. De acordo com o IBGE (2022), a produtividade média de frutos por área alcançada pelos produtores de limões Tahiti na região estudada foi de 19,65 t ha^{-1} em 2019, e 28,15 t ha^{-1} em 2020, O consumo médio de água por plantas adultas e sadias foi de 110 L $planta^{-1}$ dia^{-1} a 130 L $planta^{-1}$ dia^{-1}. O diâmetro dos frutos variaram entre 48 e 62 mm e a massa variou de 61 a 115 gr.

Estudos em lisímetros de drenagem com lençol freático mantido de 0,6 m a 0,9 m de profundidade mostraram que o consumo anual de água da laranja ‘Valência’ variou, conforme o ano, de 11.733 m^3 ha^{-1} a 16.030 m^3 ha^{-1} nas condições climáticas da Flórida (COELHO et al., 2007; BOMAN, 1994).

À semelhança do que ocorre com as culturas agrícolas em geral, a necessidade de água da limeira ácida ‘Tahiti’ varia conforme o estádio fenológico das plantas. Nas fases de brotação, emissão de botões florais, frutificação e no início do desenvolvimento dos

frutos, há maior demanda de água. Nesse período, as plantas são muito sensíveis ao déficit hídrico e o aumento do tamanho dos frutos está altamente relacionado com a absorção de água. Na fase de maturação e durante a colheita e a semidormência, a demanda hídrica é menor (MEDINA et a., 1998; NEWMAN, 1968).

CONCLUSÕES

Cada planta produziu em média 44 kg com um consumo de água variando de 110 a 130 litros de água por planta.

REFERÊNCIAS

BOMAN, R. J. Evapotranspiration by young Florida Flatwoods citrus trees. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 120, n. 1, p. 80-88, 1994.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L.; COSTA, E. L. Uso regulado do déficit de irrigação nas fases de crescimento de frutos de lima ácida Tahiti irrigado por gotejamento. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2007, Goiânia. ABID/GOIANIA, 2007.

COELHO FILHO, M.A; ANGELOCCI, L. R.; ROJAS, J. S. D.; CAMPECHE, L. F. de . S. M. & FOLEGATTI, M. V. Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima ácida Tahiti. Revista brasileira de Agrometeorologia, v.12, n.2, p.265-274, 2004.

COELHO, E. F.; SANTOS, D. B. dos; AZEVEDO, C. A. V. de. Sensor placement for soil water monitoring in lemom irrigated by microsprinkler. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 46-52, 2007.

DONATO, S. L. R.; PEREIRA, C. S.; BARROS, Z. J.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C. Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxerto de citros à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.10, p.1507-1510, out. 2007.

FAOSTAT. Área colhida, rendimento e produção nos principais países produtores de banana, coco, limão e manga. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acesso em: maio. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. [*S. l.*], 2022. Produção Agrícola Municipal, tabela 5457. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457. Accesso em: 20 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. Produção agrícola municipal, Banco de dados agregados: Sistema IBGE de recuperação automática: SIDRA. Rio de Janeiro, [2021]. Disponível em: Acesso em: maio de 2023.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; PINTO, J. M. Fotossíntese de laranjeira 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.1, p.1-14, 1998.

NEWMAN, J. E. Estimating water needs of citrus orchards. **Citrus Industry**, Bartow, v. 49, n. 1, p. 19-24, 1968.

PIRES, R.C.M. Manejo da água na irrigação dos citros. **Laranja.** Cordeirópolis, v.13, n.1, p.237-260, 1992.

CAPÍTULO 7

NUTRITIONAL BENEFITS OF INCLUDING EDIBLE INSECT CO-PRODUCTS IN PET FOOD

Data de submissão: 25/02/2024 *Data de aceite: 01/04/2024*

Júlio Cézar dos Santos Nascimento
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Animal Science Department
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0003-3107-5876

Apolônio Gomes Ribeiro
Universidade Federal da Paraíba, Animal Science Department
Areia-PB
https://orcid.org/0000-0001-6730-0209

Ricardo Romão Guerra
Universidade Federal da Paraíba, Animal Science Department
Areia - PB
https://orcid.org/0000-0001-8226-8606

Danila Barreiro Campos
Universidade Federal da Paraíba, Department of Veterinary Sciences
Areia - PB
https://orcid.org/0000-0003-1426-4392

Dayane Albuquerque da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Animal Science Department
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0001-6243-3969

Hilton Nobre da Costa
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - Pernambuco
https://orcid.org/0000-0002-3485-3162

Carlos Bôa-Viagem Rabello
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Animal Science Department
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0002-5912-162X

Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Animal Science Department
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0003-4895-2599

Elisabete Albuquerque dos Santos Benvenuto
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Department of Agronomy
Recife - Pernambuco
https://orcid.org/0000-0002-6625-4797

Daniela Pinheiro de Oliveira
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Animal Science Department
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0001-7955-3780

Marcos José Batista dos Santos
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Animal Science Department
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0002-6023-3426

Gilcifran Prestes de Andrade
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Department of Morphology and Animal Physiology
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0001-6347-7242

Priscilla Virgínio de Albuquerque
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Department of Morphology and Animal Physiology
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0003-0531-7122

José Lypson Pinto Simões Izidro
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Animal Science Department
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0002-3292-1379

ABSTRACT: Continued advancement in the pet food industry reflects a growing concern for the nutrition and well-being of pets, which are now considered integrated members of families. This progress drives innovations tailored to the specific needs of each breed and age, incorporating sustainable ingredients such as alternative and natural protein sources. Increasing attention to food customization and quality highlights adaptation to the particular demands of these animals. The focus on nutritional and environmental developments in the industry reflects a growing awareness of the importance of health and comprehensive care for pets in the family context. Despite growing demand for sustainable food options, insect co-products have emerged as promising alternatives, not only providing a high-quality protein source but also addressing crucial issues of sustainability and efficiency in food production. This study explored the feasibility and nutritional benefits of including these co-products in the diets of dogs and cats.
KEYWORDS: Alternative foods, food industry, Nutrition, Pets.

BENEFÍCIOS NUTRICIONAIS DA INCLUSÃO DE CO-PRODUTOS DE INSETOS COMESTÍVEIS NA ALIMENTAÇÃO DE CÃES E GATOS

RESUMO: O avanço contínuo na indústria de alimentos para pets reflete uma crescente preocupação com a nutrição e o bem-estar dos animais de estimação, agora considerados membros integrados das famílias. Esse progresso impulsiona inovações adaptadas às necessidades específicas para cada raça e idade, incorporando ingredientes sustentáveis, como fontes de proteína alternativas e naturais. A atenção crescente à personalização e qualidade dos alimentos destaca a adaptação às demandas particulares desses animais.

O enfoque na evolução nutricional e ambiental na indústria reflete uma conscientização crescente sobre a importância da saúde e do cuidado integral dos animais de estimação no contexto familiar. Diante da demanda crescente por opções alimentares sustentáveis, os co-produtos de insetos surgem como uma alternativa promissora, não apenas proporcionando uma fonte de proteína de alta qualidade, mas também abordando questões cruciais de sustentabilidade e eficiência na produção alimentar. O estudo em questão visa explorar a viabilidade e os benefícios nutricionais da inclusão desses co-produtos nas dietas de cães e gatos.
PALAVRAS-CHAVE: Alimentos alternativos, indústria alimentícia, Nutrição, Pets.

INTRODUCTION

With the significant increase in pet ownership and growing concern about the health and well-being of these companions, the pet food industry is constantly evolving (White, 2022; Watson et al., 2023). As pets become increasingly integrated members of families, their owners are increasingly attentive to their specific nutritional and care needs.

This increase in awareness about the importance of adequate and healthy nutrition for pets has driven the industry to develop foods that are more adapted to the specific needs of each animal, influencing a series of significant innovations. From formulations that aim to meet the specific nutritional needs of different races and ages to the introduction of alternative and more sustainable ingredients, such as alternative and natural protein sources (FEDIAF, 2019).

In this scenario, a rising topic that deserves attention is the nutritional benefits associated with the inclusion of edible insect co-products in the diets of dogs and cats (Bosch & Swanson, 2021; Gałęcki et al., 2024). The growing demand for sustainable food options has directed attention to alternative protein sources, especially considering the environmental challenges linked to conventional animal food production. In this context, insect co-products have emerged as a promising alternative, offering not only a high-quality protein source (Gałęcki et al., 2024) but also addressing crucial issues related to sustainability and efficiency in food production.

The main objective of this study was to explore the feasibility and potential nutritional benefits of including edible insect co-products in the diets of dogs and cats. We highlight the crucial role that this approach can play in promoting healthy, ecologically accountable eating for our beloved furry friends, aligning with growing demands for sustainable eating practices.

INSECT CO-PRODUCTS IN PET FOOD

Pet ownership has been increasing globally, and estimates indicate that more than 50% of all families own a pet (Valdes et al., 2022). This current trend is due to several factors such as increased income, household autonomy, increased life expectancy, urbanization, and humanization of animals (Alexander et al., 2020). Consequently, pet food is now one of the fastest-growing economic products in the world, with global pet food sales increasing considerably, reaching $125 billion in 2020 (Valdes et al., 2022).

Concerning feed for dogs and cats, one of the most expensive nutrients for diet formulations is protein, due to the high amino acid requirements of these animals, varying between 18% and 22% for canines and 26% to 30% for cats. % for felines, based on dry matter (AAFCO, 2021). It is also worth noting that foods with better quality have a higher protein content, as well as a higher proportion of proteins of animal origin, which are more expensive than protein sources of vegetable origin (Acuff et al., 2021). Given this, the growth of the human population has influenced an increase in the search for foods of animal origin, combined with the tendency of canine and feline owners to use foods with a higher proportion of animal protein, putting pressure on natural resources (Gómez et., 2019).

Ingredients of animal origin have several advantages for the nutrition of dogs and cats, such as a high crude protein content, amino acid profile, and greater digestibility than those from vegetable sources (Pimentel and Pimentel, 2003), providing vitamins and minerals, such as B vitamins, especially cobalamin, phosphorus, and calcium, which are found in more bioavailable forms than in plant sources (Meeker and Meisinger, 2014). Sustainability and negative environmental impact are disadvantages of current foods based on animal protein (Henchion et al., 2017). A study conducted by Alexander et al. (2020) reported that global dry pet food production is associated with 56 to 151 Mt of CO^2 equivalent emissions annually (which represents between 1.1% and 2.9% of global agricultural emissions).

Entomoculture on an industrial scale to obtain protein ingredients of animal origin has been proposed worldwide as a viable alternative. Edible insect species (Figure 1) have been used as food ingredients for farm animals and humans because of their nutritional quality, specifically protein (25% to 70%) and lipid (10% to 50%) content based on dry matter (Dobermann et al., 2017). There are several advantages of total insect production to conventional animal husbandry systems: (1) less water use, (2) less land use, (3) they can be fed with residues or by-products (agro-industrial, domestic, forestry, slaughterhouses and others), (4) they emit low levels of greenhouse gases and ammonia and (5) they have the most efficient food conversion rates (Van Huis, 2013).

House crickets
(*Acheta domesticus*)

Yellow mealworms
(*Tenebrio molitor*)

Black soldier fly (BSF)
(*Hermetia illucens*)

Figure 1. Common types of insects used in the production of feed

Source: Adapted from UK Pet Food, (2021).

Worldwide, there is already a wide variety of insect-based foods and treats for dogs and cats, which are produced and sold mainly in Europe and North America. However, research on the effect of insect co-products on the health and nutrition of dogs and cats is still scarce. Furthermore, there are some issues regarding the technologies used to produce and incorporate insect-based ingredients into pet foods and the regulations in each country that allow their use in animal feed (Valdes et al., 2022).

Insects provide high nutritional and energy value as dietary ingredients for dogs and cats (Table 1). As a general rule, the nutrient content in insects, in descending order, is protein > lipids > ash > fibre (Makkar et al., 2014). Proteins from insect co-products have high digestibility (76% to 98%), as they are similar to animal proteins and are rich in essential amino acids (Bosch et al., 2014), with a high content of glutamic acid and aspartic acid. Glutamic acid is related to the perception of *umami* flavour, which has been described as a gratifying and appetizing taste for dogs, cats, and other animals (Luna et al., 2020). According to Bosch and Swanson (2021), the limiting amino acids in insects are methionine and threonine in black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) and mealworm larvae meal (*Tenebrio molitor*) for dogs and cats.

Properties	Cricket	Mealworm	Black Soldier Fly	References
Crude protein (%)	58–69	48–57	41–43	[1]
Main amino acids	1. Glutamic acid 2. Leucine 3. Alanine	1. Glutamic acid 2. Leucine 3. Aspartic acid	1. Aspartic acid 2. Glutamic acid 3.Valine	[1]
Lipids (%)	11–23	32–40	17–34	[1]
Main fatty acids	1. Linoleic acid 2. Oleic Acid 3. Palmitic acid	1. Oleic acid 2. Linoleic Acid 3. Palmitic acid	1. Lauric acid 2. Oleic acid 3. Palmitic acid	[1]
Crude fiber (%)	6–8	2–5	4–10	[1,2,3,4,5,6]
Ash (%)	3–8	2–4	15–27	[18]
Gross energy (MJ/kg)	20–22	26–27	20–24	[1,4,7,8]
Calcium (g/kg)	5–15	1–5	58–93	[1]
Phosphorus (g/kg)	7–8	4–11	5–13	[1]

Table 1. Nutritional properties of insects used in pet food

Source: Adapted from Valdés et al. (2022). References: [1] - Makkar et al. (2014); [2] - Cutrignelli et al. (2018); [3] - Ribeiro et al. (2019); [4] - Caimi et al. (2020); [5] -Kröger et al. (2020); [6] - Hawkey et al. (2021); [7] - Marco et al. (2015); [8] - Montowska et al. (2019).

Table 2 shows the values for dry matter composition, crude protein, crude energy, ether extract, mineral matter, and apparent metabolizable energy, and the digestibility coefficients for dry matter, crude protein, ether extract, mineral matter, and crude energy of *Gryllus assimilis* nymphs and *Tenebrio molitor* larvae based on dry matter.

	DM	**MM**	**CP**	**EE**	**GE**	**AMEn**
	Chemical composition of the NM/DM (%)				**(Kcal/Kg of NM/DM)**	
GAN	90.15	3.69/4.10	52.66/58.41	26.61/29.52	5975/6628	-
TML	94.56	3.16/3.34	49.34/52.18*	30.44/32.19	6074/6423	-
	Digestibility/retention coefficient ± standard error (%)				**(Kcal/Kg of NM)**	
GAN	52.5±5.0	49.4±7.3	31.3±2.8	64.0±8.6	58.7±2.6	4412±307
TML	64.9±8.3	56.6±12.0	49.3±7.7	76.2±20.9	76.9±3.6	4847±450

Table 2. Chemical composition and digestibility/retention coefficients for dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), mineral matter (MM) and gross energy (GE), and apparent metabolisable energy (AMEn) of the insect meals, *Gryllus assimilis* nymphs (GAN) and *Tenebrio molitor* larvae (TML).

Source: Adapted from Dourado et al. (2020). DM: dry matter; NM: natural matter. *37.5/39.7% according to the nitrogen conversion factor established by Janssen et al. (2017).

Insects generally provide a good energy density for diets due to the high content of fatty acids, especially in species that have larval (holometabolous) stages, as the larvae accumulate energy reserves that will be used during metamorphosis up to the pupal stage and in the adult stage, where a large amount of energy is destined for reproduction. Tenebrio and cricket larvae meal contain unsaturated fatty acids, which can be beneficial for the health of canines and felines; however, the predominant fatty acid is palmitic acid (16:0) (Aguilar, 2021). The main fatty acid present in black soldier fly larvae is lauric acid (12:0), a saturated fatty acid that has antimicrobial activity against Gram-positive bacteria, fungi, and viruses and has been reported to regulate total cholesterol levels (Aguilar, 2021).

The third most important component of insect meals is ash or mineral matter. The ash content of black soldier fly larvae is high (2 to 25% of DM), as it contains high concentrations of calcium and phosphorus. Insects are rich in several microminerals such as copper, iron, magnesium, manganese, selenium, and zinc (Ordoñez-Araque et al., 2023). Insect co-products contain significant amounts of fibre derived from chitin, a polysaccharide that constitutes the insect exoskeleton. Fibre also originates from sclerotized proteins and other substances bound to chitin. Black soldier fly larvae, mealworms, and house crickets are good sources of riboflavin, pantothenic acid, biotin, and folate (Ordoñez-Araque et al., 2023).

The use of insects in the feeding of dogs and cats is a reality that has been spreading across various countries. Currently, several industries are producing dry pet food and treats based on insects for pets, which can be purchased at specialized stores, retail outlets, or on the internet, although still in relatively low numbers in Brazil. The commercialization of these co-products is on the rise, and pet owners seem to approve of the use of insect flours as ingredients for dog food in live, dehydrated, or ground forms. Future studies should investigate the acceptability of insects for dogs and cats, their nutritional safety, as well as their functional properties such as antioxidant, antimicrobial, and prebiotic capacities. Other relevant issues include potential risks to food safety resulting from animals consuming insects and the economic sustainability of insect farming on an industrial scale.

CONCLUSION

The incorporation of insect co-products into dog and cat food proves to be not only interesting but also a sustainable and innovative solution. The nutritional benefits associated with these ingredients, with their rich composition of proteins, vitamins, and minerals, stand out as a promising alternative to meet the specific demands of these pets. Furthermore, the sustainability inherent in the production of insect co-products offers an accountable approach in line with growing environmental concerns.

REFERENCES

AAFCO. **Methods for Substantiating Nutritional Adequacy of Dog and Cat Food**. Available at:https://www.aafco.org/Portals/0/SiteContent/Regulatory/Committees/Pet-Food/Reports/Pet_Food_Report_2013_Midyear-Proposed_Revisions_to_AAFCO_Nutrient_Profiles.pdf

ACUFF, H.L.; DAINTON, A.N.; DHAKAL, J.; KIPROTICH, S.; ALDRICH, G. **Sustainability and pet food**. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. 51:563–581, 2021. Doi: https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2021.01.010

AGUILAR, J.G.S. **An overview of lipids from insects**. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 33:101967, 2021. Doi: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101967

ALEXANDER P.; BERRI A.; MORAN D.; REAY D.; ROUNSEVELL M.D.A. **The global environmental paw print of pet food**. Global Environmental Change. 65:102153, 2020. Doi: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102153

BORRELLI, L.; VARRIALE, L.; DIPINETO, L.; PACE, A.; MENNA, L.F.; FIORETTI, A. **Insect derived lauric acid as promising alternative strategy to antibiotics in the antimicrobial resistance scenario**. Frontiers in Microbiology. 12:1–7, 2021. Doi: https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.620798

BOSCH, G.; SWANSON, K.S. **Effect of using insects as feed on animals: pet dogs and cats**. Journal of Insects as Food and Feed. 7(5): 795-805, 2021. Doi: https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0084

BOSCH, G.; ZHANG, S.; OONINCX, D.G.A.B.; Hendriks W.H. **Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods**. Journal of Nutritional Science. 3:e29, 2014. Doi: https://doi.org/10.1017/jns.2014.23

CAIMI, C.; RENNA, M.; LUSSIANA, C.; BONALDO, A.; GARIGLIO, M.; MENEGUZ, M.; DABBOU, S.; SCHIAVONE, A.; GAI, F.; ELIA, A.C.; PREARO, M.; GASCO, L. **First insights on black soldier fly (Hermetia illucens L.) larvae meal dietary administration in siberian sturgeon (Acipenser baerii brandt) juveniles**. Aquaculture. 515: 734539, 2020. Doi: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734539

CUTRIGNELLI, M.I.; MESSINA, M.; TULLI, F.; RANDAZZO, B.; OLIVOTTO, I.; GASCO, L.; LOPONTE, R.; BOVERA, F. **Evaluation of an insect meal of the black soldier fly (Hermetia illucens) as soybean substitute: Intestinal morphometry, enzymatic and microbial activity in laying hens**. Research in Veterinary Science. 117, 209–215, 2018. Doi: https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.12.020

DOBERMANN, D.; SWIFT, J.A.; FIELD, L.M. **Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed**. Nutrition Bulletin. 42:293–308, 2017. Doi: https://doi.org/10.1111/nbu.12291

DOURADO, L.R.B.; LOPES, P.M; SILVA, V.K.; CARVALHO, F.L.A.; MOURA, F.A.S.; SILVA, L.B.; GIANNECCHINI, L.G.; PINHEIRO, S.R.F.; BIAGIOTTI, D.; KIMPARA, J.M. **Chemical composition and nutrient digestibility of insect meal for broiler**. Annals of the Brazilian Academy of Sciences. 92(3): e20200764, 2020. Doi: https://doi.org/10.1590/0001-3765202020200764

FEDIAF. **European Pet Food Industry Federation (FEDIAF). Nutritional Guidelines For Complete and Complementary Pet Food for Cats and Dogs**. 2019. P. 1-96. Available at: https://oehtv.at/fileadmin/pdf-Dateien/2019_FEDIAF_Nutritional_Guidelines.pdf

GAŁĘCKI, R.; HANUSZEWSKA-DOMINIAK, M.; KACZMAR, E. **Edible Insects as a Source of Dietary Protein for Companion Animals – Perspectives and Possibilities**. Preprints 2024010047, 2024. Doi: https://doi.org/10.20944/preprints202401.0047.v1

GÓMEZ, B.; MUNEKATA, P.E.S.; ZHU, Z.; BARBA, F.J.; TOLDRÁ, F.; PUTNIK, P.; BURSAĆ KOVAČEVIĆ, D.; LORENZO, J.M. **Challenges and opportunities regarding the use of alternative protein sources. Aquaculture and insects**. Advances in Food and Nutrition Research. 89:259–295, 2019. Doi: https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.03.003

HAWKEY, K.J.; LOPEZ-VISO, C.; BRAMELD, J.M.; PARR, T.; SALTER, A.M. **Insects: A potential source of protein and other nutrients for feed and food**. Annual Review of Animal Biosciences. 9: 333–354, 2021. Doi: https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083930

HENCHION, M.; HAYES, M.; MULLEN, A.; FENELON, M.; TIWARI, B. **Future protein supply and demand: Strategies and factors influencing a sustainable equilibrium**. Foods. 6:53, 2017. Doi: https://doi.org/10.3390/foods6070053

JANSSEN, R.H.; VINCKEN, J.P.; VAN DEN BROEK L.A.M.; FOGLIANO, V.; LAKEMOND, C.M.M. **Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: Tenebrio molitor, Alphitobius diaperinus, and Hermetia illucens**. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 65: 2275-2278, 2017. Doi: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471

KRÖGER, S.; HEIDE, C.; ZENTEK, J. **Evaluation of an extruded diet for adult dogs containing larvae meal from the black soldier fly (Hermetia illucens).** Animal Feed Science and Technology. 270: 114699, 2020. Doi: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114699

LUNA, D.; CARRASCO, C.; ÁLVAREZ, D.; GONZÁLEZ, C.; EGAÑA, J.I.; FIGUEROA J. **Exploring anhedonia in kennelled dogs: Could coping styles affect hedonic preferences for sweet and umami flavours**? Animals. 10:2087, 2020. Doi: https://doi.org/10.3390/ani10112087

MAKKAR, H.P.S.; TRAN, G.; HEUZÉ, V.; ANKERS P. **State-of-the-art on use of insects as animal feed**. Animal Feed Science and Technology. 197:1–33, 2014. Doi: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008

MARCO, M.; MARTÍNEZ, S.; HERNANDEZ, F.; MADRID, J.; GAI, F.; ROTOLO, L.; BELFORTI, M.; BERGERO, D.; KATZ, H.; DABBOU, S.; KOVITVADHI, A.; ZOCCARATO, I.; GASCO, L.; SCHIAVONE, A. **Nutritional value of two insect larval meals (Tenebrio molitor and Hermetia illucens) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy.** Animal Feed Science and Technology. 209: 211–218, 2015. Doi: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006

MEEKER, D.L.; MEISINGER, J.L. **Companion animals symposium: Rendered ingredients significantly influence sustainability, quality, and safety of pet food**. Journal of Animal Science. 93:835–847, 2015. Doi: https://doi.org/10.2527/jas.2014-8524

MONTOWSKA, M.; KOWALCZEWSKI, P.Ł.; RYBICKA, I.; FORNAL, E. **Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders**. Food Chemistry. 289: 130–138, 2019. Doi: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062

ORDOÑEZ-ARAQUE, R.; EGAS-MONTENEGRO, E. **Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet**. International Journal of Gastronomy and Food Science. 23:100304, 2021. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100304

PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. **Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment**. The American Journal of Clinical Nutrition. 78:660S–663S, 2003. Doi: https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.660S

RIBEIRO, J.C.; LIMA, R.C.; MAIA, M.R.G.; ALMEIDA, A.A.; FONSECA, A.J.M.; CABRITA, A.R.J.; CUNHA, L.M. **Impact of defatting freeze-dried edible crickets (Acheta domesticus and Gryllodes sigillatus) on the nutritive value, overall liking and sensory profile of cereal bars**. LWT. 113: 108335, 2019. Doi: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108335

UK PET FOOD. **Insect-Based Ingredients in Pet Food**. 2021. Available at: file:///C:/Users/apolo/Downloads/UKPetFoodFS24Insect-Based-Ingredients.pdf

VALDÉS, F.; VILLANUEVA, V.; DURÁN, E.; CAMPOS, F.; AVENDAÑO, C.; SÁNCHEZ, M.; DOMINGOZ-ARAÚJO, C.; VALENZUELA, C. **Insects as Feed for Companion and Exotic Pets: A Current Trend**. Animals (Basel).12(11): 1450, 2022. Doi: https://doi.org/10.3390/ani12111450

VAN HUIS, A. **Potential of insects as food and feed in assuring food security**. Annu. Rev. Entomol. 58:563–583, 2013. Doi: https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704

WATSON, P.E.; THOMAS, D.G.; BERMINGHAM, E.N.; SCHREURS, N.M.; PARKER, M.E. **Drivers of Palatability for Cats and Dogs—What It Means for Pet Food Development**. Animals. 13(7):1134, 2023. Doi: https://doi.org/10.3390/ani13071134

WHITE, B.L. **Insights-driven development of humanised foods for pets**. Meat and Muscle Biology 6(3):14397, 2022. Doi: https://doi.org/10.22175/mmb.14397

CONSUMO HÍDRICO DO COCO ANÃO IRRIGADO POR MICROASPERSÃO MUNICIPIO DE GLÓRIA, BA

Data de aceite: 01/04/2024

José Maria Pinto
Eng. Agric. D.Sc., Pesquisador Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

José Crispiniano Feitosa Filho
Eng. Agro. Prof. Dr.Universidade Federal da Paraíba. UFBP, Campus II. Areia, PB

Rebert Coelho Correia
Eng. Agro. Pesquisador Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

RESUMO: No Brasil, a maior parte dos plantios irrigados de coqueiro é da Variedade Anã, que é mais exigente em água e é menos resistente à seca do que a Variedade Gigante. A cultura do coqueiro adapta-se bem a diversos métodos e sistemas de irrigação. Dentre estes destaca-se como tecnologia de irrigação mais atualizada os sistemas de gotejamento e microaspersão. O manejo da irrigação é um dos fatores indispensáveis na otimização do uso da água. Contudo, para que o manejo da irrigação se proceda dentro de um critério racional, é necessário ter controle sobre a umidade do solo para se determinar, adequadamente, o momento da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada. Realizou-se, no município de Glória, BA, Brasil um estudo com objetivo de estudar o consumo hídrico com a cultura do coqueiro anão, (*Cocos nucifera*) totalizando meio hectare. O espaçamento entre plantas nas linhas foi de 7,0 metros e entre fileiras de plantas 7,0 metros. O sistema de irrigação foi o microaspersão, com um emissor por planta e vazão do emissor de 70,0 $L.h^{-1}$. A lâmina de água foi calculada com base nos dados meteorológicos e coeficiente da cultura (kc). O momento da irrigação foi determinado pelo uso de tensiômetros. Quantificou-se a produção e calculou-se o uso eficiente de água pela cultura do coqueiro anão. A produção média de frutos por planta foi de 80 frutos. O consumo médio de água por planta variou de 110 L $planta^{-1}$ dia^{-1} a 130 L $planta^{-1}$ dia^{-1}.

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*, irrigação, uso eficiente da água.

WATER CONSUMPTION OF COCONUT IRRIGATED BY MICROSPRISION IN GLORIA, BA, BRAZIL

ABSTRACT: In Brazil, most of the irrigated coconut plantations are of the Dwarf variety, which is more demanding in terms of water and is less resistant to drought than the Giant variety. The coconut tree culture adapts well to several irrigation methods and systems. Among these, dripping and microsprinkler systems stand out as the most up-to-date irrigation technology. Irrigation management is one of the essential factors in optimizing water use. However, for the management of irrigation to proceed within a rational criterion, it is necessary to have control over soil moisture to properly determine the timing of irrigation and the amount of water to be applied. A study was carried out in the municipality of Glória, BA, Brazil, with the objective of studying water consumption with the culture of coconut palms (*Cocos nucifera*) totaling half a hectare. The spacing between plants in the rows was 7.0 meters and between rows of plants 7.0 meters. The irrigation system was microsprinkler, with one emitter per plant and emitter flow of 70.0 $L.h^{-1}$. Calculator water depth based on meteorological data and crop coefficient (kc). The timing of irrigation was determined using tensiometry. The production was quantified and the efficient use of water by the dwarf coconut crop was calculated. The average production of fruits per plant was 80 fruits. The average water consumption per plant ranged from 110 L $plant^{-1}$ day^{-1} to 130 L $plant^{-1}$ day^{-1}.
KEYWORDS: *Cocos nucifera*, irrigation, water efficient use.

INTRODUÇÃO.

A cultura do coqueiro adapta-se bem a diversos métodos e sistemas de irrigação. Assim, podem ser utilizados os seguintes métodos e sistemas: irrigação por superfície, sendo os sistemas por sulcos a forma mais utilizada; irrigação por aspersão e irrigação localizada, gotejamento e microaspersão.

Os sistemas de irrigação localizada, diferentemente dos sistemas de irrigação por superfície e por aspersão, não molham toda a superfície do terreno; portanto, um mínimo de área molhada deve ser garantido para que se evitem condições de estresse hídrico às plantas. Esse mínimo é representado pela porcentagem de área média molhada pelo emissor em relação à área total da planta. Estudos demonstram que a porcentagem de área média molhada depende do tipo de solo (textura, estrutura e grau de estratificação do perfil), do tipo de emissor (gotejador), do número de emissores e das condições climáticas locais (KELLER & BLIESNER, 1990). Para fins práticos, Keller & Bliesner (1990) recomendaram valores entre 33% e 67% para culturas com maior espaçamento entre plantas, como os citros. O valor de porcentagem de área média molhada deve ser maior onde a precipitação é menor.

A definição do sistema é feita após a análise técnica e econômica, mas diante da atual necessidade de racionalização e uso eficiente de água e energia, um dos métodos recomendados é a irrigação localizada, visto que o mesmo permite a aplicação da água requerida pela cultura na quantidade e no momento exato, no volume do solo explorado

pelo sistema radicular, o que proporciona menor consumo de água e energia, e maior eficiência de irrigação em comparação aos demais métodos. Além disso, a exigência de mão de obra é menor nos sistemas irrigação localizada, da maior eficiência na aplicação de água e fertilizantes (fertirrigação) e a facilidade de automação do sistema.

Na microaspersão, utiliza-se, normalmente, um ou dois microaspersores por planta, enquanto no gotejamento, calcula-se o número de emissores por planta em função da vazão do emissor e vazão disponível para a irrigação. Em condições de alta frequência de irrigação, deve-se ajustar a área molhada pelos microaspersores de acordo com a idade da planta e o desenvolvimento do seu sistema radicular, objetivando a economia de água na irrigação. Na fase jovem do coqueiro, o uso do microaspersor com diâmetro molhado ajustado ao tamanho do sistema radicular da cultura permite reduzir o consumo de água. Na fase de produção, a porcentagem da superfície do solo molhada pelo microaspersor deve ser maior, o que pode ser obtido com o uso de microaspersores com diâmetro molhado de 5,0 a 6,0 m. Em regiões em que a água é escassa ou salina, sobretudo se o solo for de textura franca (média) a argilosa, recomenda-se optar por um sistema de gotejamento. Pois, no gotejamento, a água é aplicada de forma pontual e molha apenas uma pequena área da superfície do solo, reduzindo as perdas de água por evaporação e, no período seco do ano, o crescimento de plantas invasoras. Esse sistema permite manter um determinado volume do solo continuamente umedecido, tanto espacial quanto temporalmente, o que contribui para reduzir os efeitos prejudiciais da salinidade nas propriedades físicas e químicas do solo e no crescimento e produção da cultura (SOUSA et al., 2011).

No Brasil, a maior parte dos plantios irrigados de coqueiro é da variedade Anã, que é mais exigente em água e é menos resistente à seca do que a variedade Gigante. Isso porque o coqueiro-anão, por apresentar alta taxa de transpiração, consome mais água que o coqueiro-gigante e, nas mesmas condições de solo e clima, apresenta mais cedo os efeitos do estresse hídrico. A quantidade de água requerida pelo coqueiro depende de vários fatores, tais como: solo (tipo, textura, teor de umidade, fertilidade), clima (radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento), cultura (cultivar, idade, altura, área foliar e estado nutricional da planta) e manejo cultural (uso de quebra ventos e cobertura morta, controle fitossanitário e de plantas invasoras) (MIRANDA et al., 2007).

Para o cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc) do coqueiro-anão irrigado por microaspersão ou gotejamento, podem ser utilizados os valores de coeficiente de cultura (Kc): no primeiro ano 0,65, no segundo ano 0,85 e a partir do terceiro ano 1,0 (MIRANDA et al. 2007). Dependendo das condições climáticas, plantas de coqueiro-anão em produção podem apresentar consumos de água da ordem de 100 a 240 L planta^{-1} dia^{-1}. No entanto, há relatos de produtores de coco utilizando volumes diários de irrigação de até 350 L planta^{-1} dia^{-1} (MIRANDA et al., 2019; CARR, 2011).

O manejo ou controle da irrigação é um dos fatores indispensáveis para a otimização do uso da água. Contudo, para que o manejo da irrigação se proceda

dentro de um critério racional, é necessário ter controle sobre a umidade do solo para se determinar, adequadamente, o momento da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada. O conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, onde se encontram 80% das raízes, é importante para o manejo da irrigação. A distribuição do sistema radicular do coqueiro é influenciada, principalmente, pelo tipo de solo (presença de camadas adensadas ou coesas no perfil), condições de umidade, práticas culturais e diferenças entre variedades. No caso do coqueiro-anão irrigado, desde o primeiro ano de cultivo até a idade adulta, mais de 80% das raízes absorventes concentram-se numa profundidade de até 0,6 m (MIRANDA et al., 2019).

Em condições de alta frequência de irrigação, deve-se ajustar a área molhada pelos microaspersores de acordo com a idade da planta e o desenvolvimento do seu sistema radicular, objetivando a economia de água na irrigação. Na fase jovem do coqueiro, o uso do microaspersor com diâmetro molhado ajustado ao tamanho do sistema radicular da cultura permite reduzir o consumo de água. Na fase de produção, a porcentagem da superfície do solo molhada pelo microaspersor deve ser maior, o que pode ser determinado com o uso de microaspersores com diâmetro molhado de 5,0 a 6,0 m. Esse sistema permite manter um determinado volume do solo continuamente umedecido, tanto espacial quanto temporalmente.

Anualmente necessita-se de 900 a 1.200 mm de água para produção de frutos de coco para a produção de água de coco. A demanda hídrica varia em função da evapotranspiração, características do solo, variedade copa utilizada e variedade porta-enxerto empregada (CARR, 2011).

OBJETIVO DO TRABALHO.

O objetivo foi avaliar a produtividade e quantificar o uso da água da cultura do coqueiro-anão no município de Delmiro Gouveia, AL.

MATERIAL E MÉTODOS

Instalou-se no município de Glória, BA, uma área com a cultura do coqueiro-anão, (*Cocos nucifera*) totalizando meio hectare, com o objetivo de quantificar o consumo e o uso eficiente de água. O espaçamento utilizado foi de 7 m x 7 m em solo com os seguintes atributos físicos e químicos nas camadas de 0 – 0,20 m: pH: 6,9; matéria orgânica: 22,76 g kg^{-1}; P: 27,14 mg dm^{-3}, K, Ca, Mg, H + Al, Sb: 0,2, 2,0, 1,1, 1,2, 3,4, cmolc L^{-1}, respectivamente e V: 73,7%; micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) iguais a 1,00, 10,89, 14,78 e 15,13 mg dm^{-3} respectivamente. Na camada de 0,20 – 0,40 m os atributos determinados foram: pH: 6,5; P: 17,27 mg dm^{-3}, K, Ca, Mg, H + Al, Sb: 0,16, 1,6, 0,9, 1,2, 2,7, cmolc L^{-1}, respectivamente e V: 69,2%; micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) iguais a 1,00, 14,79,

7,6 e 1,46 respectivamente. O teor de areia igual a 80,22; silte 16,89 e argila 2,89 %; condutividade elétrica 0,56 mS cm^{-1}.

O preparo do solo consistiu em aração antes do transplantio. A adubação de plantio deve ser realizada mediante a análise de solo, baseada na adubação usual para a cultura do coqueiro.

Foram abertas covas de 50 x 50 x 50 cm, nas quais foram aplicados 20 L de esterco e 200 g de MAP por cova. Semanalmente aplicou-se, via fertirrigação, as doses de fertilizantes: MAP: 2,5 kg; sulfato de magnésio: 3,00kg; Zinco: 0,8 kg; nitrato de cálcio: 3,95 kg e nitrato de potássio: 5,4 kg, doses determinadas com base nos resultados das análises de solos.

O espaçamento adotado foi de 7,0 x 7,0 metros entre fileiras de plantas e entre plantas na fileira.

Utilizou-se o sistema de irrigação por microaspersão, com vazão de 70 L h^{-1}, com dois emissores por plantas. A localização do microaspersor deve evitar que a água seja jogada diretamente no caule da planta para evitar a entrada de fungos e bactérias, que podem causar doenças nas plantas. A lâmina de água calculada com base nos dados meteorológicos e coeficiente de cultura (kc), variou de 0,74 a 1,0. O momento da irrigação foi determinado pelo uso de tensiometria, mantendo-se a tensão da água no solo entre -40 e -50 kPa.

As irrigações e fertirrigações foram realizadas três vezes por semana. Anualmente retirou-se amostras de folhas e solos para realizar os ajustes nas doses dos nutrientes.

Na colheita, a área foi dividida em doze parcelas, quantificada a produção e calculado o uso eficiente de água pela cultura do coqueiro.

A produção de frutos de coco foi submetida à análise de variância através do teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO.

A produção média por planta foi de 80 frutos na primeira colheita. Não houve diferenças significativas no número de frutos entre plantas a 5% pelo teste de Tukey. O consumo médio de água por plantas adultas e sadias foi de 110 L $planta^{-1}$ dia^{-1} a 130 L $planta^{-1}$ dia^{-1}. Para o cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc) do coqueiro-anão irrigado por microaspersão, podem ser utilizados os valores de coeficiente de cultura (Kc): no primeiro ano 0,65; no segundo ano 0,85 e, a partir do terceiro ano, 1 (MIRANDA et al. 2007). Dependendo das condições climáticas, plantas de coqueiro-anão em produção podem apresentar consumo de água variando de 100 a 240 L $planta^{-1}$ dia^{-1}. No entanto, há relatos de produtores de coco utilizando volumes diários de irrigação de até 350 L $planta^{-1}$ dia^{-1} (MIRANDA et al., 2019; CARR, 2011).

A deficiência hídrica e a baixa disponibilidade de nutrientes no solo geralmente limitam o crescimento e o potencial de produção das culturas nos agrossistemas porque a maioria das culturas é sensível aos déficits hídrico e de nutrientes em diferentes estágios críticos. Por outro lado, a aplicação de água em excesso afeta negativamente a produção, pode aumentar o custo de produção e a lixiviação de fertilizantes. Portanto, o uso eficiente da água na agricultura é uma abordagem chave para mitigar a escassez de água e reduzir os problemas ambientais.

A inspeção dos emissores deve ser realizada regularmente para corrigir danos mecânicos e posição do emissor, que deve ser mantida na posição vertical para que o raio molhado seja o mesmo especificado nas características técnicas dos emissores. Recomenda-se fazer uma avaliação periódica do sistema de irrigação para verificar a uniformidade de distribuição de água e realizar os devidos ajustes.

CONCLUSÕES

Cada planta produziu em média 80 kg com um consumo de água variando de 110 a 130 litros de água por planta.

REFERÊNCIAS

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of coconut (*Cocos nucifera*): a review. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, n. 1, p. 27-51, 2011.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinholds, 1990. 650 p.

MIRANDA, F. R.; GOMES, A. R. M.; OLIVEIRA, C. H. C.; MONTENEGRO, A. A. T.; BEZERRA, F. M. L. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 2, p. 129-135, 2007.

MIRANDA, F. R. de; ROCHA, A. B. S.; GUIMARÃES, V. B.; SILVA, E. S. da; LIMA, G. de C. M.; SANTOS, M. M. S. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. Irriga, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 109-124, 2019.

SOUSA, V. F.; PINTO, J. M.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; MEDEIROS, J. F.; SANTOS, J. F. Irrigação e fertirrigação na cultura do melão In: SOUZA, V. de; MAROUELLI, W. A.; PINTO, J. M.; COELHO, E. F.; COELHO, M. A. (ed.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 23, p. 657-687.

CAPÍTULO 9

EFEITO DE PULVERIZADOR COM ASSISTÊNCIA A AR NOS NÍVEIS DE RUÍDO EMITIDOS POR TRATOR AGRÍCOLA

Data de aceite: 01/04/2024

Stefani Refatti Moraes
http://lattes.cnpq.br/9858561930172837

Vilnei de Oliveira Dias
http://lattes.cnpq.br/0966454329092371

Eracilda Fontanela
http://lattes.cnpq.br/0339515010711123

Jhon Pablo Lima Cornélio
http://lattes.cnpq.br/3919296050095060

Lanes Beatriz Acosta Jaques
http://lattes.cnpq.br/3456075507202154

Maria Eduarda Hitz
http://lattes.cnpq.br/8774917040169861

Natália do Nascimento Garcez
http://lattes.cnpq.br/4666555801390150

Vitor Romário Charão Nunes
http://lattes.cnpq.br/4550886783055349

RESUMO: O ruído gerado pelas operações agrícolas é considerado um dos principais fatores ergonômicos prejudiciais ao operador do maquinário e pessoas próximas ao raio de alcance do ruído, afetando não somente a audição, mas o bem-estar e o rendimento na realização do trabalho, aumentando a possibilidade de acidentes. Assim, este trabalho teve por objetivo quantificar os níveis de ruído emitidos por um trator agrícola, considerando diferentes rotações de motor, de forma a avaliar a influência do acionamento de pulverizador com assistência a ar nos níveis de ruído, no posto de operação do trator e a um metro de distância, para demonstrar os efeitos a que pessoas trabalhando próximo ao conjunto mecanizado estão expostas. O ensaio foi conduzido em área experimental da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete, no município de Alegrete/RS. Como fonte de ruído, utilizou-se um trator agrícola de 75 cv de potência (55,2 kW), acoplado a um pulverizador com assistência a ar nas barras de pulverização, e a captação dos níveis de ruído foi realizada por meio de um medidor de nível sonoro (decibelímetro digital) portátil. Os tratamentos foram compostos de três condições de assistência a ar da barra pulverizadora (desligada, média e máxima) e quatro níveis de rotação de motor (1400, 1600, 1800 e 2000 rpm). Observou-se que os maiores níveis de ruído ocorreram quando a assistência a ar estava funcionando em seu nível máximo e em rotações mais altas, no posto de operação; enquanto os níveis de ruído foram reduzindo à medida em que a rotação era baixada e o

raio de afastamento aumentado. Logo, as variáveis apresentaram efeito significativo sobre os níveis de ruído, em ambos os locais avaliados.
PALAVRAS-CHAVE: Mecanização agrícola; Ergonomia; Norma NR 15.

ABSTRACT: The noise generated by agricultural operations is considered one of the main ergonomic factors harmful to the machinery operator and people close to the noise range, affecting not only hearing, but well-being and performance when carrying out work, increasing the possibility of accidents. Thus, this work aimed to quantify the noise levels emitted by an agricultural tractor, considering different engine speeds, to evaluate the influence of air-assisted sprayer activation on noise levels, at the tractor's operating station and one meter away, to demonstrate the effects that people working close to the mechanized assembly are exposed to. The trial was conducted in an experimental area at the Federal University of Pampa - Campus Alegrete, in the city of Alegrete/RS. As a noise source, a 75 hp (55.2 kW) agricultural tractor was used, coupled to a sprayer with air assistance on the spray bars, and noise levels were captured using a meter. portable sound level meter (digital decibel meter). The treatments were composed of three spray bar air assistance conditions (off, medium, and maximum) and four engine speed levels (1400, 1600, 1800 and 2000 rpm). It was observed that the highest noise levels occurred when the air assistance was operating at its maximum level and at higher speeds, at the operating station; while noise levels reduced as the speed was lowered and the clearance radius increased. Therefore, the variables had a significant effect on noise levels in both locations evaluated.
KEYWORDS: Agricultural mechanization; Ergonomics; Standard NR 15.

O trabalhador rural está exposto a diversos riscos laborais ao operar uma máquina agrícola, sejam eles físicos, químicos ou biológicos, ampliando a incidência de doenças ocupacionais. No entanto, a segurança do operador está atrelada, também, ao seu bem-estar, tornando o fator ergonômico de suma importância durante o desempenho das atividades de trabalho. O ruído gerado pelas operações agrícolas é considerado um dos principais fatores ergonômicos prejudiciais ao operador do maquinário e pessoas próximas ao raio de alcance do ruído, afetando não somente a audição, mas o bem-estar e o rendimento na realização do trabalho, aumentando a possibilidade de acidentes. Os estudos voltados à emissão de ruídos por máquinas e implementos agrícolas, a que os trabalhadores estão expostos, viabiliza a proposição de alternativas e adequações viáveis, que garantam a saúde e segurança dos trabalhadores. Assim, este trabalho teve por objetivo quantificar os níveis de ruído emitidos por um trator agrícola, considerando diferentes rotações de motor, de forma a avaliar a influência do acionamento de pulverizador com assistência a ar nos níveis de ruído, no posto de operação do trator e à um metro de distância, para demonstrar os efeitos a que pessoas trabalhando próximo ao conjunto mecanizado estão expostas. O ensaio foi conduzido em área experimental do Laboratório de Mecanização Agrícola do Pampa, da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete, no município de Alegrete/RS. Como fonte de ruído, utilizou-se um trator agrícola da marca New Holland,

modelo TL 75 E, com 75 cv de potência (55,2 kW), acoplado a um pulverizador da marca Jacto, modelo Falcon Vortex 600®, com assistência a ar nas barras de pulverização. A captação dos níveis de ruído foi realizada por meio de um medidor de nível sonoro (decibelímetro digital) portátil, modelo ITDEC 4010, da marca Instrutemp. Os tratamentos foram compostos de três condições de assistência a ar da barra pulverizadora (desligada, média e máxima) e quatro níveis de rotação de motor (1400, 1600, 1800 e 2000 rpm), avaliando-se a emissão dos níveis de ruído no posto de operação, especificamente à altura do ouvido do operador, à 0,20 m de distância lateralmente, e a um metro de distância, ao lado direito do trator; realizaram-se três repetições para cada tratamento, denotando um fatorial 3x4x2, de 72 observações. Ao comparar os três níveis de assistência a ar (Figura 1), os maiores níveis de ruído ocorreram quando a assistência a ar estava funcionando em seu nível máximo enquanto os menores níveis de ruído foram medidos quando a assistência a ar estava funcionando em nível médio. No entanto, não houve diferença significativa quando comparada à assistência a ar desligada, pois, os ruídos emitidos pelo motor do trator foram predominantes.

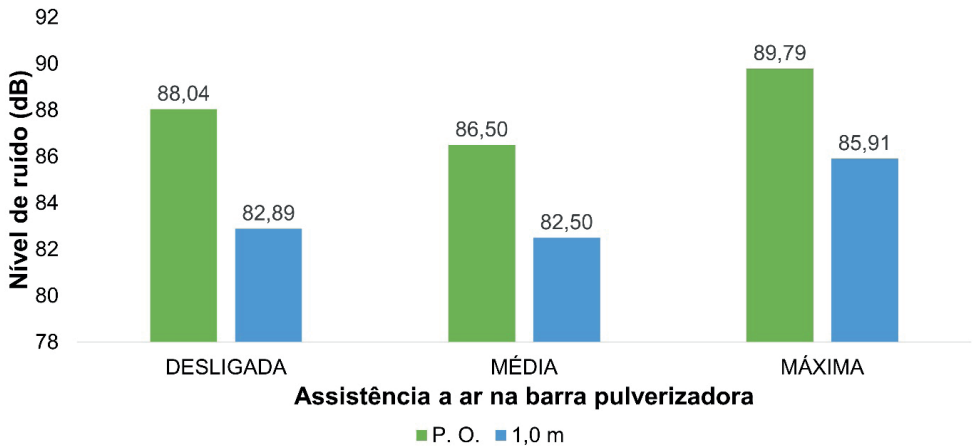


Figura 1 – Comparação das médias dos níveis de ruído para as condições de assistência a ar na barra pulverizadora avaliadas

Para as rotações de motor (Figura 2), os níveis de ruído demonstraram comportamento linear, assim, rotações mais elevadas tendem a aumentar a emissão de ruído. Avaliando o local de captação dos ruídos, no posto de operação do trator agrícola, devido à maior proximidade da fonte de ruído, observou-se níveis de ruído mais proeminentes. O aumento no raio de afastamento, para um metro de distância, gerou um decréscimo nos níveis de ruído, demonstrando um comportamento inversamente proporcional entre distância e intensidade sonora emitida.

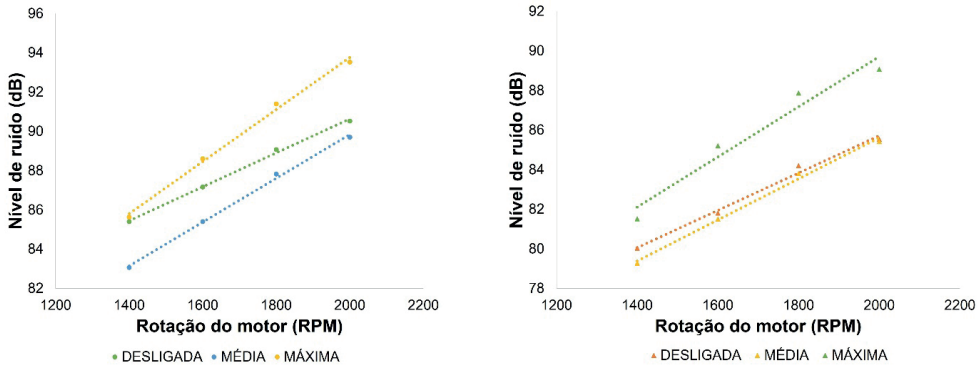


Figura 2 – Regressão linear das médias de ruído emitidos pela interação dos fatores assistência a ar x rotação do motor (P.O. e 1,0 m, respectivamente)

O maior nível de ruído captado para o posto de operação e a um metro de distância foi, respectivamente, 93,53 dB e 89,07 dB, quando o motor operava a 2000 rpm, evidenciando a necessidade de fazer uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), quando em jornadas de trabalho de oito horas, conforme os limites diários permitidos pela Norma Regulamentadora nº 15 (BRASIL, 2022). Em rotações mais baixas, como a 1400 rpm, os níveis de ruído foram de 83,07 dB, para o posto de operação, e 79,27 dB, a um metro de distância, permitindo uma jornada de trabalho maior que oito horas, sem o uso de proteção auricular. No entanto, a utilização de protetores se faz importante uma vez que os efeitos da exposição a ruídos não ocorrem de forma imediata, mas a longo prazo. Assim, foi possível concluir que a assistência a ar na barra de pulverização e a rotação do motor apresentaram efeito significativo sobre os níveis de ruído emitidos pelo conjunto trator-implemento, em ambos os locais avaliados.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Secretaria de Trabalho. **Norma regulamentadora NR-15:** Atividades e operações insalubres. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Previdência, 2022.

CAPÍTULO 10

EFICIÊNCIA DO MILHETO NO CONTROLE DE PLANTAS E SEU EFEITO SOBRE A CULTURA QUANDO CULTIVADO JUNTAMENTE COM A MELANCIA

Data de aceite: 01/04/2024

Luan Cardoso Barros
Estudante do Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio – IFTO. Bolsista do Programa de Iniciação Científica IFTO

Marcelo Alves Terra†
In memorian

Ana Laura Salgado de Oliveira
Estudante do Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio IFTO

Caroline Vieira da Silva
Estudante do Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio IFTO

Areno Soares Carneiro
Estudante do Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio IFTO

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do milheto na supressão e controle de plantas daninhas. Foram utilizadas quatro linhas de cultivo de melancia contendo 20 plantas cada. A cada quatro plantas atribuído um tratamento: 1) cultivo capinado; 2) cultivo com 10 kg/ha de sementes de milheto; 3) cultivo com 20 kg/ha de sementes de milheto; 4) cultivo com 40 kg/ha de sementes de milheto e 5) cultivo sem capina. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Foi lançado, aos 15, 35, 55 DAS (dias após a semeadura) do milheto, de forma aleatória, um quadro com dimensões de 0,25 X 0,25 m, 1 vez em cada parcela. A cada lançamento foi feita a identificação e contagem das plantas daninhas no interior do quadro e, aos 55 DAS, realizada a coleta das plantas daninhas para determinação da matéria seca. As plantas daninhas foram acondicionadas em sacos de papel e levados à estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 60 °C por 72 horas. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade. Concluímos que o milheto quando cultivado juntamente com a cultura da melancia tem um efeito supressor das plantas daninhas, entretanto não foi observado efeito significativo na produtividade da melancia.

PALAVRAS-CHAVE: Cultivo. Avaliação.

INTRODUÇÃO

A melancia é uma das principais Cucurbitaceae cultivada no Brasil, no entanto, sua produção ainda é bastante limitada devido a diversos fatores. De acordo com (SILVA *et al*. 2013), a qualidade final das hortaliças está relacionada, direta e indiretamente, a numerosos fatores intrínsecos e extrínsecos, que atuam durante todas as fases de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Dentre esses fatores, merece destaque a interferência de plantas daninhas, que competem com a cultura por água, luz e nutrientes, além de liberarem substâncias alelopáticas que inibem o desenvolvimento das espécies cultivadas (SILVA *et al*.,2013). Segundo Medeiros et al., 2000, a interferência de plantas daninhas pode resultar em até 95% de perda na produtividade da melancieira.

A planta de milheto Pennisetum glaucum surgiu entre 4 mil e 5 mil anos atrás ao Sul do Deserto do Saara, sendo levada para a Índia a partir do ano 2.000 a.C., gerando genótipos distintos dos originais africanos. Nos dias de hoje, é uma das culturas mais cultivadas nos países da África Saheliana e Sudaniana (EMBRAPA, 2009).

De acordo com (PEREIRA *et al*., 2010), o milheto é cultivado e adaptado praticamente em todas as regiões agrícolas brasileiras, como planta forrageira, produtora de grãos para fabricar ração, como planta de cobertura do solo em sistema de plantio direto e na renovação de pastagens degradadas, além de alternativa na alimentação humana para pequenos produtores de regiões menos favorecidas do Brasil.

O município de Formoso do Araguaia é o maior produtor de melancia do Estado do Tocantins. De acordo com o (CANAL G1 2013), a produção do município correspondeu a aproximadamente 50% da produção do Estado, entretanto, atualmente essa produção está ameaçada devido ao ataque de mosca branca. A mosca branca é um inseto de difícil controle, sendo necessária a adoção de diversas práticas de manejo no seu combate, dentre as quais o manejo de plantas daninhas é de grande importância, uma vez que as plantas invasoras são hospedeiras deste inseto.

BEZERRA *et al*., (2004), descrevem a presença de ovos de mosca branca em plantas de Acanthospermum hispidum (Asteraceae), conhecida como “carrapicho-de-burro”, Amaranthus deflexus (Amaranthaceae), vulgarmente chamada de “bredo”, Datura stramonium (Solanaceae), conhecida como “zabumba” e Euphorbia heterophylla (Euphorbiaceae), conhecida como “leiteira”. Com exceção da zabumba as demais plantas citadas são encontradas na região de produção de melancia em Formoso do Araguaia.

Neste aspecto, é evidente que o combate às plantas daninhas pode contribuir para a redução da incidência de mosca branca na cultura da melancia, entretanto, esta tarefa não é tão simples, pois, a melancia é uma espécie da família das curcubitaceaes, cujas plantas são extremamente sensíveis a herbicidas, o que limita o controle de plantas invasoras ao método de capina manual o que, por sua vez, esbarra na escassez de mão de obra da

região. Desta forma, verifica-se que há a necessidade do desenvolvimento de técnicas integradas que favoreçam o manejo fitossanitário da cultura da melancia na região de Formoso do Araguaia.

A predominação do monocultivo agregado a técnicas agrícolas inadequadas têm comprometido o crescimento da produtividade e implicado na degradação do solo e do ambiente. Compondo o *Sistema Plantio Direto* (***SPD***), a consorciação de culturas, além de proporcionar uma série de outros benefícios, como o auxílio no controle de plantas daninhas, promove excelente cobertura viva e morta do solo, durante o maior período de tempo possível (HERNANI *et al*., 2009).

Este sistema se caracteriza pela estruturação de um ambiente orgânico que contribui para a conservação da umidade e da fertilidade do solo, favorece a difusão do fósforo (P) na solução do solo e, consequentemente, sua melhor absorção pelas plantas (GATIBONE *et al*., 2007).

Segundo ROCHA et al., (2011), outro fator de grande importância no cultivo de melancia é a distribuição do seu sistema radicular, pois quando a compactação limita o crescimento radicular, é possível observar grande concentração de raízes na camada superficial, neste caso elas não conseguem ultrapassar a camada compactada, o que deixa a cultura suscetível a períodos de estiagem.

Dessa forma, além de exercer o controle sob as plantas daninhas, o milheto serve como uma alternativa para cobertura do solo no SPD, gerando diversos benefícios, como o aumento da matéria orgânica e manutenção da umidade do solo, diminuindo as perdas por evaporação.

Diante das restrições no cultivo de melancia, ocasionada devido ao seu hábito rasteiro, baixo número de herbicidas registrados para esta cultura e por ser uma planta pertencente à família das cucurbitáceas, extremamente sensíveis ao uso de herbicidas, avaliou o efeito do milheto sobre as plantas daninhas em cultivo consorciado com a melancia e, pode ser, uma alternativa viável. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do milheto na supressão de plantas daninhas e seu efeito sobre a cultura da melancia quando cultivado em consórcio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido entre agosto de 2022 e março de 2023 no município de Gurupi em área equipada com sistema de irrigação. A semeadura foi realizada no sistema de covas sendo colocadas 04 sementes em cada e aos 10 DAE (dias após a emergência) foi realizado o desbaste deixando uma planta por cova.

De acordo com os questionários feitos para produtores na região, foi atribuído o espaçamento de 2,20 m entre linhas e 0,9 m entre plantas, aplicando uma adubação pesada de 700 kg/ha de NPK. Foram utilizadas quatro linhas de cultivo de melancia contendo 20 plantas cada.

A cada quatro plantas de cada linha foi constituído um tratamento, sendo: 1) cultivo capinado; 2) cultivo com 10 kg/ha de sementes de milheto; 3) cultivo com 20 kg/ha de sementes de milheto; 4) cultivo com 40 kg/ha de sementes de milheto e 5) cultivo sem capina. Desta forma, foi possível avaliar o efeito da densidade de plantas de milheto sobre a emissão de plantas daninhas, uma vez que há um tratamento totalmente sem plantas daninhas e outro sem capina.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 04 repetições, sendo cada planta de melancia da linha central uma repetição. A área correspondente a 4 linhas por planta foi a área útil da parcela e nesta foi realizado o monitoramento das plantas invasoras. Para tal, foi lançado aos 75 DAS (dias após a semeadura) do milheto, de forma aleatória, um quadro com dimensões de 0,25 X 0,25 m, por 1 vez em cada parcela. A cada lançamento foi feita a identificação e contagem das plantas daninhas presentes no interior do quadro, sendo que aos 55 DAS, as plantas foram coletadas para determinação da matéria seca.

A biomassa seca de todas as plantas foi determinada no laboratório do IFTO/ Campus Gurupi, onde as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 60 °C pelo período de 72 horas. O número de plantas daninhas encontradas em cada época de avaliação foi extrapolado para número de plantas daninhas por hectare.

Foram calculados os parâmetros fitossociológicos: frequência absoluta (Fa) que permite avaliar a distribuição das espécies na área de estudo; densidade absoluta (Dab), a quantidade de plantas de cada espécie por unidade de área; abundância absoluta (Ab abs) que informa sobre a concentração das espécies na área; frequência relativa (Fr), densidade relativa (Der) e abundância relativa (Abr) que informam a relação de cada espécie com as outras espécies encontradas na área; dominância relativa (Dor) expressa a dominância de cada espécie em relação à produção de biomassa por área; índice de valor de cobertura (IVC) que expressa a cobertura das espécies em relação a sua produção de biomassa e ao número de indivíduos por área; índice de valor de importância (IVI) que indica quais espécies são mais importantes dentro da área estudada, conforme as seguintes fórmulas (Concenço *et al.*, 2013):

$$Fa = \frac{\text{N° de parcelas que contém a família}}{\text{N° total de parcelas utilizadas}}$$

$$Fr = \frac{\text{Frequência absoluta}}{\Sigma \text{ Frequência absoluta de todas as famílias}}$$

$$Dab = \frac{\text{N° total de indivíduos por família}}{\text{Área total coletada}}$$

$$Dr = \frac{\text{Densidade absoluta da família}}{\Sigma \text{ Densidade absoluta de todas as família}}$$

$$Abna = \frac{\text{N° total de indivíduos por família}}{\text{N° total de parcelas que contém a família}}$$

$$Abnr = \frac{\text{Abundância absoluta da família}}{\Sigma \text{ da abundância das família}}$$

$$Dor = \frac{\text{Biomassa da família}}{\Sigma \text{ Biomassa das família}}$$

IVC=Dominância relativa + Densidade relativa

IVI=Frequência relativa + Densidade relativa + Abundância relativa

Os resultados de matéria seca foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste Scott Knot a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentadas as famílias, espécies nome comum das plantas daninhas e a quantidade de plantas encontradas na área de plantio da melancia. Observa-se que foram identificadas 10 famílias e 17 espécies. Verifica-se que as famílias com maior número de espécies foram a Poaceae, Fabaceae e Rubiaceae com 4, 3 e 3 representantes respectivamente. Com relação ao número de plantas destaca-se a espécie *Diodella teres* da família Rubiaceae com 144 plantas e a *Conyza bonariensis* da família Asteraceae com 96 plantas.

	Família	Número de Espécies	Espécie	Nome Comum	Número de Plantas
1	Amaranthaceae	1	*Amaranthus hybridus*	Bredo-vermelho	2
2	Euphorbiaceae	1	*Chamaesyce Hirta*	Erva de Santa Luzia	1
3	Commelinaceae	1	*Commelina benghalensis*	Trapoeraba	3
4	Cyperaceae	1	Cyperaceae Juss	Tiririca	52
5	Poaceae	4	*Digitaria sanguinaria*	Capim-colchão	3
			Cynodon dactylon	Grama-bermuda	4
			Eleusine Indica	Capim pé-de-galinha	4
			Brachiaria decumbens	Braquiarão	14
6	Convolvulaceae	1	*Ipomoea purpurea*	Corda de viola	2
7	Malvaceae	1	*Sida rhombifolia*	Guanxuma	11
8	Fabaceae	3	*Indigosfera Hirsuta*	Anileira	8
			Mimosa Invisa	Dormideira	23
			Senna obtusifolia	Fedegoso	4
9	Rubiaceae	2	*Diodella teres*	corre-mundo	144
			Spermacoce latifolia	Erva-quente	14
10	Asteraceae	2	*Tridax procumbens*	Erva-de-touro	6
			Conyza bonariensis	Buva	96
	Total	17			391

Tabela 1. Família, número de espécies, espécies, nome comum e número de plantas encontradas no cultivo de melancia. Gurupi/TO 2023.

Na **Tabela 2** estão apresentados os resultados da valores de frequência absoluta (Fa), frequência relativa (Fr), densidade absoluta (Dab), densidade relativa (Dr), abundância absoluta (Ab abs), abundância relativa (Abr), dominância relativa (Dor), índice de valor de cobertura (IVC) e índice de valor de importância (IVI), das famílias encontradas na total do cultivo de melancia. Observando o Fr, verifica-se que a família Rubiácea *e a* Fabaceae *,* apresentam os maiores valores sendo respectivamente 22,2 e 19,0.

Ressalta-se que optou por discutir de forma mais aprofundada apenas a Dor, o IVC e o IVI, uma vez que eles são a expressão final dos demais parâmetros e representam a dinâmica das plantas daninhas na área estudada. Neste sentido, com relação a Dor, a família Rubiácea foi a que mais se destacou por ser a que obteve uma maior biomassa. Analisando os dados da "Dor", podemos observar que a família Rubiácea apresenta o maior índice de dominância relativa, com 30,0%. Isso sugere que as espécies da família Rubiaceae, principalmente a *Diodella teres,* apresenta-se como principal planta daninha da área estudada.

Outras famílias que também apresentam valores relativamente altos de dominância relativa são Fabaceae (25,9%) e Cyperaceae (16,3%) . Observa-se que a família Cyperaceae merece destaque pois foi encontrado uma única espécie e mesmo assim

possui uma Dr muito próxima às famílias que obteve 2 espécies. Segundo (RADOSEVICH *et al*. 1996), à medida que aumentam a densidade e o desenvolvimento das plantas daninhas, especialmente daquelas que germinaram e emergiram no início do ciclo de uma cultura, intensifica-se a competição interespecífica e intraespecífica, de modo que as plantas daninhas mais altas e desenvolvidas tornam-se dominantes, ao passo que as plantas menores são suprimidas ou morrem.

Para o IVC a família Rubiácea (71,0%) e Asteraceae (42,1%) representam um maior número de indivíduos. Sendo assim, a família Rubiácea nos parâmetros Dor e IVC, mostrou-se superior pois obteve uma maior biomassa e maior número de indivíduos.

Observando os dados da tabela na coluna IVI, podemos notar que a família Rubiácea possui o maior valor de IVI, com 90,5. Isso indica que essa família tem uma alta importância na comunidade vegetal, considerando sua frequência, abundância e dominância.

	FA	FR	Dab	Dr	Abna	Abnr	Dor	IVC	IVI
Amaranthaceae	0,1	3,2	0,003	0,5	1	2,4	1,5	2,0	6,1
Asteraceae	0,5	15,9	0,129	26,0	10,2	24,2	16,1	42,1	66,0
Commelinaceae	0,1	3,2	0,004	0,8	1,5	3,6	2,3	3,0	7,5
Convolvulaceae	0,05	1,6	0,003	0,5	2,0	4,7	0,2	0,7	6,8
Cyperaceae Juss	0,55	17,5	0,067	13,5	4,8	11,4	16,3	29,8	42,4
Euphorbiaceae	0,05	1,6	0,001	0,3	1,0	2,4	0,1	0,4	4,2
Fabaceae	0,6	19,0	0,047	9,4	3,1	7,3	25,9	35,3	35,8
Malvaceae	0,3	9,5	0,014	2,8	1,8	4,3	3,1	5,9	16,7
Poaceae	0,2	6,3	0,027	5,3	5,3	12,4	4,5	9,9	24,1
Rubiaceae	0,7	22,2	0,203	41,0	11,5	27,3	30,0	71,0	90,5
Total	3,15	100	0,496	100	42,2	100	100	200	300

Tabela 2. Frequência absoluta (Fa), frequência relativa (Fr), densidade absoluta (Dab), densidade relativa (Dr), abundância absoluta (Abna), abundância relativa (Abnr), dominância relativa (Dor), índice de valor de cobertura (IVC) e índice de valor de importância (IVI) de plantas daninhas na área de cultivo da melancia. Gurupi/TO, 2023.

Observa-se na **Tabela 3** que, o tratamento sem capina e aquele com 10 kg de sementes de milheto/ha apresentaram o maior número de plantas daninhas e não se diferenciam estatisticamente entre si, sendo superior aos demais.

Para a matéria seca das plantas daninhas/ha o tratamento que obteve o maior valor foi apenas o sem capina. Apesar do tratamento com 10 kg de sementes de milheto ter sido superior quanto ao número de plantas daninhas, essa condição não se repetiu para o peso de matéria seca evidenciando o efeito deletério do milheto sobre o acúmulo de matéria das plantas infestantes.

Entre os tratamentos de 10, 20 e 40 kg de sementes para as plantas de milheto, houve diferença estatisticamente significativa. O tratamento de 40 kg resultou em uma maior quantidade de plantas de milheto

Com relação a produtividade da melancia percebe-se que ela ficou além do esperado dos produtores da região. Uma vez que como Tomaz (2008); Fernandes (2010) e Teófilo *et al*. (2012), que verificaram 100% de perda na produção comercializável de frutos de melão, no mesmo sistema de plantio, devido à interferência de plantas daninhas e superiores aos verificados por Maciel *et al*. (2008), que constataram redução de 58,6% na produtividade de melancia, quando a cultura conviveu com as plantas infestantes durante todo o ciclo.Mas de maneira geral, considerando o efeito das plantas daninhas e plantas de milheto sobre a cultura, apesar de não ocorrer diferença estatística entre os tratamentos, observa-se que a produtividade na área capinada foi muito próxima da produtividade encontrada quando cultivou a melancia com 40 Kg de sementes/ha de milheto.

Associando a redução do número de plantas daninhas proporcionadas pelo milheto na quantidade de de 40 kg de sementes/ha à boa produtividade obtida neste tratamento pode-se considerar que o milheto nestas proporções é uma opção eficiente de controle de plantas daninhas na cultura da melancia.

Tratamentos	Número de plantas daninhas/ha	Matéria seca das plantas daninhas kg/ ha	Plantas de milheto kg/ha	Matéria seca das plantas de milheto kg/ha	Produtividade de Melancia T/ha
Com capina	360000 b	331,73 b	0,00 c	0,00 a	1,033
10kg	105333 a	1279,46 b	466666 c	1604,80 a	0,133
20kg	13333 b	1261,06 b	240000 b	1240,00 a	0,633
40kg	42666 b	781,73 b	440000 a	622,53 a	0,966
Sem capina	120000 a	2862,13 a	0,00 c	0,00 a	0,666
F de Tratamento	8,95*	4,401*	9,088*	3,246*	2,316ns
CV (%)	42.41	60,5	64,09	100,35	59,07

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, ns - significativo. Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não se diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott Knot(P> 0,05).

Tabela 3. Número de plantas daninhas/ha e matéria seca das plantas daninhas, plantas de milheto, matéria seca do milheto e produtividade de melancia T/ha. Gurupi/2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluímos que o milheto quando cultivado juntamente com a cultura da melancia tem um efeito supressor das plantas daninhas, entretanto não foi observado efeito significativo na produtividade da melancia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao orientador deste projeto, e aos discentes que ajudaram na realização do tal. Agradecemos ao CNPq e ao IFTO pelo fomento e apoio para a execução do projeto que possibilitou a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, Mary-Ann S.; OLIVEIRA, Maria R.V. de; VASCONCELOS, Simão D. Does the presence o Bemisia tabaci (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation on tomato plants in a se ecosystem?. Neotrop. Entomol., Londrina, v. 33, n. 6, dez. 2004.

CAMPOS, Liliane Pereira; LEITE, Luiz Fernando Carvalho; MACIEL, Giovana Alcântara; IWATA, Br

CANAL G1. 'Mosca branca' ameaça produção de melancia em Formoso do Araguaia. D <http://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2013/08/mosca-branca-ameaca-producao-de-melancia-em-formoso-do araguaia.html>. Acesso em: 31 de março de 2015.

CARON BO; HELDWEIN AB. 2000. Consumo d'água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado plástica na primavera. Revista Brasileira de Agrometeorologia 8: 19-25.

CASTRO, G.S.A et al. Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas.Planta daninha, V spe, 2011.

CORREA, José Carlos; SHARMA, Ravi Datt. Produtividade do algodoeiro herbáceo em plantio direto no rotação de culturas.Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 39, n. 1, jan. 2004.

EMBRAPA. Cultivo do milheto. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 3. Versão Eletrônica-1aedDisponívelem:<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milheto_1_ed/index.htm>. Acesso em: 8 de fevereiro

ERASMO, E.A.L; COSTA, N.V; PERUZZO, A.S; BARBERATO, Junior J.E. Efeito de herbicidas aplicados à várzea sobre a cultura do girassol. Planta daninha vol.28 no.4 Viçosa Dec. 2010.

FERNANDES D. 2010. Interferência de plantas daninhas na produção e qualidade de frutos de melão nos sistemas de plantio direto e convencional. Mossoró: UFERSA, p.62 (Dissertação mestrado).

GATIBONI, L.C. et al. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.4, p.691-699, 2007.

HERNANI, Luis Carlos; SOUZA, Luiz Carlos Ferreira; CECCON, Gessi. Consorciação de culturas. Agên informação tecnológica, 2009. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fx4zsnby02wyiv80u5vcsv Acesso em: 3 de fevereiro de 2017.

MEDEIROS RD; MOREIRA MAB; LUZ FJF; OLIVEIRA JÚNIOR JOL. 2000. Controle de plantas daninha melancia em Roraima. Horticultura Brasileira 18: 450-451.

NÓBREGA, Júlio César Azevedo. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de agropec. Bras. vol.46 no.12 Brasília Dec. 2011.

PEREIRA, Israel Alexandre Filho; CRUZ, José Carlos; ALBUQUERQUE, Manoel Ricardo Filho. Embrapa sistemas de produção. Versão Eletrônica - 2a edição, Set. 2010.

ROCHA, Marta Rodrigues; FOLETTO, Flávio Luiz Eltz; SANTOS, Michele Silva; ROCHA, Pedro Vanti; GOZiani. Produtividade, qualidade dos frutos e distribuição do Sistema radicular da melancia em diferente cultivo.

RODRIGUES, José Avelino Santos; PEREIRA, Israel Alexandre Filho. Embrapa milho e sorgo produção. Versão Eletrônica - 1 edição, Set. 2009.

SILVA, Antônio Carlos Ferreira. Importância da cobertura do solo para as plantas cultivadas. Versão em 2015.

SILVA, Márcio Gledson; FREITAS, Francisco Claudio L.; NEGREIROS, Maria Zuleide; MESQUIT SANTANA, Fabiana Aline O.; LIMA, Mayky Francley P. Manejo de plantas daninhas na cultura da sistemas de plantio direto e convencional. Hortic. Bras. vol.31 no.3 Vitoria da Conquista July/Sept. 2013.

TEÓFILO TMS; FREITAS FCL; MEDEIROS JF; SILVA DF; GRANGEIRO LC; TOMAZ HVQ. 2012. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. *Planta Daninha* 30: 547-556.

TIMOSSI, Paulo César; DURIGAN, Julio Cezar; LEITE, Gilson José. Formação de palhada por braquiárias sistema plantio direto.Bragantia, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

TOMAZ HVQ. 2008. Manejo de plantas daninhas, crescimento e produtividade do meloeiro em sistemas convencionais. Mossoró: UFERSA. 67p. (Dissertação mestrado).

VIDAL, R. A. FLECK, N. G. Injúria potencial de herbicidas de solo ao girassol. IV – rendimento componentes do rendimento. Planta daninha, v. 12, n. 1, p. 44-51, 1994.

CAPÍTULO 11

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE DIFERENTES HÍBRIDOS DE MILHO DE IMPORTÂNCIA REGIONAL PARA O SUDOESTE MINEIRO

Data de submissão: 09/02/2024 *Data de aceite: 01/04/2024*

Maria Gabriela de Queiroz
Bolsista de Produtividade em Pesquisa - PQ/UEMG, Chamada 01/2021
Docente do Departamento de Ciências Agrárias e da Terra, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/2053330973064133

Anderson Antônio Rodrigues de Oliveira
Discente do Curso de Engenharia Agronômica da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/1800889156901343

Thalia Gonçalves Moraes
Discente do Curso de Engenharia Agronômica da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/8375382474176205

Jean Silveira Soares Souza
Discente do Curso de Engenharia Agronômica da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/6032569377766717

Evandro Freire Lemos
Docente do Departamento de Ciências Agrárias e da Terra, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/8149097284988456

Antonio Augusto Nogueira Franco
Docente do Departamento de Ciências Agrárias e da Terra, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/3692260905824927

Isabela Cristina Gomes Honório
Docente do Departamento de Ciências Agrárias e da Terra, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/7002223000437455

Vinícius de Abreu D'Ávila
Docente do Departamento de Ciências Agrárias e da Terra, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/1039562774291187

José Ricardo Ferreira Lopes
Docente do Departamento de Agrárias e Naturais, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Ituiutaba-MG
http://lattes.cnpq.br/0456769010077741

Thaís Helena de Araujo
Docente do Departamento de Ciências Agrárias e da Terra, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/8926270695946333

Antonio Tassio Santana Ormond
Docente do Departamento de Ciências Agrárias e da Terra, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/3007232030803007

Bruno Silva Pires
Docente do Departamento de Ciências Agrárias e da Terra, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos-MG
http://lattes.cnpq.br/4570328497228557

RESUMO: Analisou-se as variáveis biométricas e de biomassa de milho, importante cultura para o sudoeste mineiro. O experimento foi conduzido na Universidade do Estado de Minas Gerais, em Passos, com três tratamentos, sendo híbridos de milho: AS1820, AS1850 e AS1868. As variáveis analisadas foram o tamanho da raiz, altura da planta, comprimento e largura da folha 3+, espessura do colmo, tamanho do pendão, número de espigas, peso fresco e seco da parte aérea da planta, e, peso fresco e seco da raiz. Conclui-se que, nas condições analisadas não foi possível, ainda, identificar qual híbrido melhor se destaca na região de Passos-MG.
PALAVRAS-CHAVE: Análise biométrica, *Zea mays*, produtividade.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF DIFFERENT CORN HYBRIDS OF REGIONAL IMPORTANCE FOR THE SOUTHWEST MINEIRO

ABSTRACT: The biometric and biomass variables of corn, an important crop for the southwest of Minas Gerais, were analyzed. The experiment was conducted at the State University of Minas Gerais, in Passos, with three treatments, being corn hybrids: AS1820, AS1850 and AS1868. The variables analyzed were root size, plant height, length and width of the 3+ leaf, stem thickness, tassel size, number of ears, fresh and dry weight of the aerial part of the plant, and fresh and dry weight of the source. It is concluded that, under the analyzed conditions, it was not yet possible to identify which hybrid best stands out in the region of Passos-MG.
KEYWORDS: Biometric analysis, *Zea mays*, productivity.

INTRODUÇÃO

Relações entre a produção agrícola e as condições climáticas e características do solo são extremamente complexas e afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas (ZUFFO et al., 2016). Logo, a falta de pesquisas sobre o desempenho de cultivares em determinada condição ambiental são fatores que condicionam baixos rendimentos produtivos. O sistema de produção agrícola pode ser afetado por fatores relacionados à planta (cultivares, ciclo), ao clima (temperatura, radiação, fotoperíodo, precipitação), às práticas culturais (época de plantio, densidade, rotação de cultura) e ao solo (tipo, fertilidade, umidade).

Informações sobre as condições de solo, do ambiente de cultivo, do crescimento e produtividade das culturas, indicadores de uso e eficiência da água, parâmetros morfofisiológicos e agrometeorológicos, desempenham um papel crucial na criação de estratégias de planejamento agrícola e tomada de decisão, mediante o incremento da produtividade de culturas e aumento dos lucros, reduzindo os custos com consumo hídrico e energético (QUEIROZ et al., 2016, 2015; PAYERO; IRMAK, 2013).

Estas informações, em muitas das vezes indisponíveis aos produtores, contribuem significativamente para o planejamento de manejo dos cultivos. Deste modo, quando adequadamente aplicadas, permitem a obtenção de maiores produtividades, fomentando informações pertinentes não somente aos produtores, mas também a pesquisadores da área, uma vez que subsidiam o conhecimento a respeito das relações existentes entre o desenvolvimento das plantas e as condições do ambiente no qual são cultivadas.

Objetivou-se contribui com o avanço de tecnologias viáveis ao cultivo do milho para o estado de Minas Gerais, fornecendo informações relevantes ao manejo agrícola, contribuindo significativamente para satisfazer às exigências de produtores e de pesquisadores, que objetivam potencializar a produtividade dessa cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPEX), pertencente a Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) localizada no município de Passos, Minas Gerais (Latitude: 20°45’00’’S; Longitude: 46°37’48’’O e altitude: 781,7 metros). O clima do tipo Cwa, subtropical úmido com verão quente e inverno seco, tendo precipitação pluviométrica média de 1623 mm (ALVARES et al., 2013).

Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados, com 4 blocos e três tratamentos, sendo estas três variedades híbridas de milho: AS1820 (T1), AS1850 (T2) e AS1868 (T3), todos com tecnologia VTPRO 3. O estabelecimento da cultura foi realizado no dia 25 de outubro de 2022, em espaçamento de 0,50 x 0,33m, com onze linhas por parcela e dezesseis sementes em cada linha. Foi semeada 3 sementes por metro, totalizando 2.184 plantas, sendo 182 plantas por parcela experimental, e 748 plantas por tratamento.

Para coleta de amostras de solo, foram escolhidos 5 pontos aleatórios, em zig-zag ao longo da área, e foram coletadas amostras de solo de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, com auxílio de trado, equipamento de extração de solo. Os resultados da análise de rotina química/física encontram-se descritos na Tabela 1. Quanto a física do solo, foi identificado como Solo Tipo 2, textura média Franco-argiloarenoso.

	PH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al		SB
	mg/dm³	mmolc/dm³							
0-20	5,4	41	6,6	15	7	1	20		28
20-40	5,4	43	5,5	11	7	1	20		23
	M.O	CTC		V	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/dm³	%			g/dm3	mg/dm³			
0-20	22	48		59	14	1,4	195	5,7	1,68
20-40	22	43		54	13	1,3	152	6,7	1,7

Tabela 1. Análise química de solo da área experimental semeada com milho, em Passos-MG, no ano agrícola de 2022/2023.

Para realizar a adubação do milho, a qual é dividida em duas aplicações, sendo no plantio e em cobertura, esta última nos estágios V4 e V5. Para determinação de quantidade de adubo foi utilizado o manual da quinta aproximação (Tabela 2) e o histórico de produtividade das cultivares, que segundo o fornecedor, para uma população de 60 mil plantas (população do experimento) é de 6 a 7 toneladas. Para o plantio foi utilizado o adubo NPK 8-24-12. Para a adubação de cobertura, foi aplicado o NPK 20-00-20.

Prod.	Disponibilidade de P¹			Disponibilidade de K¹			Dose de N
	Baixa	Média	Boa	Baixa	Média	Boa	
	Dose de P2O5			Dose de K2O			
t/ha	Kg/ha						
4 – 6	80	60	30	50	40	20	60
6 – 8	100	80	50	70	60	40	100
>8	120	100	70	90	80	60	140

Tabela 2. Tabela de recomendação de adubação para cultura do milho. Fonte: 5° aproximação – Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 1999.

O monitoramento das condições meteorológicas durante o período de execução do experimento foi realizado por meio de uma estação meteorológica automática (EMA), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão vinculado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, localizada na fazenda experimental da UEMG. Os elementos meteorológicos monitorados foram a precipitação pluviométrica (mm), radiação solar global (MJ $m^{-2}dia^{-1}$), temperatura média, máxima e mínima do ar (ºC), umidade relativa média, máxima e mínima do ar (%), pressão atmosféricas (kPa), e velocidade do vento ($m.s^{-1}$). Com estes dados foi determinada, diariamente, a Evapotranspiração de referência (ETo), pelo método de Penman-Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998).

O monitoramento biométrico foi executado em intervalos quinzenais, nos dias 12/12/22, 27/12/22, 11/01/23, 26/01/23, 10/02/23 e 08/03/2023. As seguintes medições foram realizadas em três plantas por parcela experimental: tamanho da raiz (TR), altura da planta (AP), comprimento da folha 3+ (C+3), largura da folha 3+ (L+3), espessura do colmo (EC), número de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM) e tamanho do pendão (TP). A altura da planta (AP) foi determinada pela medição do comprimento entre o solo e o topo da planta, para isso foi utilizado uma trena de 8 metros. O tamanho da raiz (TR) foi determinado após retirá-la com o auxílio de uma enxada, medindo o seu comprimento total. O comprimento da folha 3+ (C+3) e a largura da folha 3+ (L+3) foi determinado a partir da medição dessa folha que é a terceira folha completamente desenvolvida contando de cima para baixo. A espessura do colmo (EC) foi medida na base da planta com o auxílio de paquímetro.

Também, nesses mesmos intervalos quinzenais, foi realizado o monitoramento de acúmulo de biomassa, em uma planta por parcela experimental, obtendo o peso fresco da parte aérea da planta (PFPA), peso seco da parte aérea (PSPA), peso fresco da raiz (PFR) e peso seco da raiz (PSR). Para obter o peso seco das amostras, estas foram experimentadas a uma estufa pré-aquecida a 65°C durante 48 horas.

Os dados coletados foram tabulados em planilha de Excel e submetidos a análise de variância e teste de média de Tukey ao nível de 5% de probabilidade no programa InfoStat.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental de 25/10/2022 a 08/03/2023 (135 dias), a precipitação pluviométrica acumulada foi igual a 1193 mm, superando a demanda atmosférica que foi de 515,16 mm. Neste período, não foi necessário o uso de irrigação para suprir a demanda da cultura. No período, houve 25 eventos de chuva superiores a 20 mm, os quais contribuíram com a capacidade de campo do solo e auxiliaram na reposição de água no solo. A temperatura média de 22,22ºC e umidade do ar média igual a 78,33%.

Verificou-se que, para as variáveis biométricas, não houve diferenças estatísticas entre os três híbridos de milho ($p > 0,05$), todavia, os valores médios obtidos para as variáveis AP, TR, C+3, L+3, TR, EC, NFV, NFM e nº de espigas, nos permitem identificar o desempenho destes nas condições de Passos, MG (Tabela 3).

Variável		Data				
		12/12/22	27/12/22	11/01/23	26/01/23	10/02/23
AP	m	1,49	2,71	3,18	3,16	3,11
TR	cm	22,75	25,42	29,25	29,75	31
C+3		86,42	94,58	76,89	76,36	77,92
L+3		8,67	9	8,58	9,35	9,31
TP		0	9,75	41,06	40,97	38,64
EC	mm	37,25	30,06	27,39	23,5	23,19
NFV	Unid.	6,83	10,81	13,58	12,86	12,08
NFM		0,67	2,03	2,11	1,78	2,58
NE		0	0,64	1,97	1,92	1,92

AP - Altura da Planta; TR - Tamanho Raiz; C+3 - Comprimento da Folha 3+; L+3 - Largura da Folha 3+; TP - Tamanho do Pendão; EC - Espessura do colmo; NFV - Número de Folhas Vivas; NFM - Número de Folhas Mortas; NE - Número de Espigas.

Tabela 3. Variáveis biométricas médias de híbridos de milho (*Zea mays*) AS1820, AS1850 e AS1868, no município de Passos, Sudoeste mineiro.

Como não houve diferenças entre os tratamentos, são apresentados os valores médios de cada variável nas datas em que foram realizadas as medições biométricas. Observou-se que, ao final do ciclo de desenvolvimento, o material apresentou tamanho da raiz de 31 centímetros, altura da planta de 3,11 metros, comprimento da folha 3+ de 77,92 cm, largura da folha 3+ de 9,31 cm, espessura do colmo medido na base da planta de 23,19 milímetros, número de folhas vivas 12,08 unidades, número de folhas mortas de 2,58 unidades, tamanho do pendão de 38,64 metros e quantidade de espigas de 1,92 unidades.

Silva (2019) desenvolveu um experimento na fazenda experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo, localizada no município de Nova Porteirinha, Norte de Minas Gerais, para os híbridos BRS 1040, BRS 1010, DKB 390 e BRS 1015, onde foram encontrados valores inferiores para a variável altura da planta (2,40 a 2,72 metros). Em outro experimento, que foi desenvolvido na Fazenda Experimental do Glória, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, Minas Gerais, por Piccolo (2021), também foram encontrados valores inferiores, ao obtidos neste trabalho, para avariável altura da planta onde obtiveram de 2,64 a 2,72 metros, mostrando que esse material é superior nesse quesito em relação a outras materiais presentes no mercado.

A variável número de folhas vivas, obtivemos um valor médio de 12,08 unid., segundo Silva et al. (2011) uma adubação auxiliaria no desenvolvimento da planta, promovendo maior emissão e crescimento de folhas e maior área foliar da cultura, logo, a cultura consegue maior captação da radiação solar e incremento na produção de fotoassimilados, o que irá melhorar seu desenvolvimento vegetativo. Informações de produtividade final não puderam ser coletadas, pois a cultura não atingiu o nível de maturação completa dos grãos (umidade 15%) para que possa ser realizada a colheita das parcelas experimentais.

Houve diferenças significativas nos valores de biomassa fresca e seca, da parte aérea e da raiz, entre os tratamentos analisados nas diferentes datas de monitoramento (Tabela 4).

Data	Trat.	PFPA	PFR	PSPA	PSR
		gramas (g)			
12/12/2022	T1	758,3A	157,0A	157,1B	42,8A
	T2	785,8A	195,4A	226,1A	64,2A
	T3	775,6 A	192,9A	170,0AB	65,5A
27/12/2022	T1	1027,5A	408,0B	366,7A	149,0B
	T2	1291,7A	1271,7A	480,5A	742,5A
	T3	926,3A	468,5B	278,7A	238,0B
11/01/2023	T1	1360,0A	382,0B	467,6A	145,7B
	T2	1887,5A	1478,2A	741,9A	892,8A
	T3	1668,8A	983,0AB	571,5A	554,4AB
26/01/2023	T1	1708,7AB	570,0AB	585,0A	267,5A
	T2	2031,2A	1055,0A	683,7A	555,0A
	T3	1613,7B	488,8B	522,5A	225,0A
10/02/2023	T1	1756,2A	436,2B	695,0A	146,3B
	T2	2005,0A	1163,8A	700,0A	623,8A
	T3	1590,0A	486,3B	616,3A	213,8B
08/03/2023	T1	1570,0A	545,0A	722,5A	207,5A
	T2	1433,8A	935,0A	657,5AB	480,0A
	T3	1106,3A	567,5A	532,5B	283,8A

PFPA-Peso Fresco da Parte Aérea; PFR-Peso Fresco da Raiz; PSPA-Peso Seco da Parte Aérea; PSR-Peso Seco da Raiz. Tratamentos com a mesma letra na coluna, em cada data, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 4. Variáveis de biomassa de híbridos de milho (*Zea mays*): AS1820 (T1), AS1850 (T2) e AS1868 (T3), no município de Passos, Sudoeste mineiro.

Observa-se que até a data 08/03/2023 houve incremento da matéria seca da parte aérea, passando de 157,07 a 722,5g em T1; de 226,10 a 657,5g (T2) e de 170,02 a 532,5g em T3 (Tabela 4). Incrementos também foram observados para a matérias seca dos híbridos de milho, sendo uma resposta às adubações de cobertura, a qual contribui para um ambiente agrícola favorável ao desenvolvimento do milho.

O híbrido AS1850 (T2) foi o tratamento com maiores valores observados, e, modo geral, foi estatisticamente superior aos demais, em PFPA, PFR, PSPA e PSR (Tabela 4).

CONCLUSÕES

Conclui-se que, nas condições analisadas não foi possível, ainda, identificar qual dos híbridos analisados melhores se destaca na região de Passos-MG.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMUTH, M. Crop Evapotranpiration: Guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M., SPAROVEK, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Zeitschrift** 22, 711–728. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

QUEIROZ, M.G.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S., SILVA, S.M.S.; LIMA, L.R.; ALVES, J. O. 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. n.19, p.931–938. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938.

QUEIROZ, M.G.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S.M.S; SOUZA, C.A.A.; CARVALHO, E.F.S. 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada em Ambiente Semiárido. **Revista Irriga**. P. 141–154.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S.; Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coeficiente of soybean. **Agricultural Water Management**, v.129, p.31– 43, 2013.

PICCOLO, Marcelo Alves Dal. DESEMPENHO AGRONÔMICO DE MILHO VERDE (*Zea mays*), EM RAZÃO DA ADUBAÇÃO VERDE. 2021. 15 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Agronômica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

SILVA, Natanael Pereira. DESEMPENHO AGRONÔMICO E FISIOLÓGICO DE HÍBRIDOS DE MILHO CULTIVADOS COM E SEM RESTRIÇÃO HÍDRICA. 2019. 85 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2019.

SILVA, T.C. et al. Agronomic divergence of sorghum hybrids for silage yield in the semiarid region of Paraiba. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.9, p.1886-1893, 2011.

ZUFFO, A.M., ZUFFO JÚNIOR, J.M., DA SILVA, L.M.A., DA SILVA, R.L., DE MENEZES, K.O., 2016. Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do Piauí. **Revista Ceres** 63, 145–153. https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020005

CAPÍTULO 12

PNEUMONIA FÚNGICA EM EQUINOS: REVISÃO DE LITERATURA

Data de aceite: 01/04/2024

Júlia Gabriely de Souza Freita
Discente no Curso de Medicina Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais

Ana Clara Oliveira Dias
Discente no Curso de Medicina Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais

Andreza Alvarenga Rabelo
Médica Veterinária Residente na Clínica de Equinos do Hospital Veterinário UFMG – Belo Horizonte/MG – Brasil

Bernardo Perácio Sales
Discente no Curso de Medicina Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais

Helena Sasdelli Miranda
Discente no Curso de Medicina Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais

Igor Almeida Miranda
Médico Veterinário pela Universidade Federal de Minas Gerais

Isabela Eduardo da Silva
Médica Veterinária Residente na Clínica de Equinos do Hospital Veterinário UFMG – Belo Horizonte/MG – Brasil

Júlia Esther Costa Andrade
Discente no Curso de Medicina Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais

Juliana de Oliveira Alves
Discente no Curso de Medicina Veterinária – Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO: Nos últimos anos, houve um aumento na ocorrência de doenças fúngicas em animais domésticos, causadas por mudanças ambientais e de manejo. Em equinos, essas infecções afetam vários sistemas, sendo as infecções o mais críticas e potencialmente fatais. A pneumonia fúngica primária em cavalos é rara, pois animais saudáveis geralmente combatem a infecção. No entanto, quando ocorre, diagnosticar e tratar a doença é desafiador, com um prognóstico frequentemente reservado. Este estudo visa revisar as causas, manifestações clínicas, métodos de diagnóstico e tratamentos disponíveis para pneumonia fúngica em equinos.

PALAVRAS-CHAVE: Doenças fúngicas, cavalos, pneumonia, pneumonia fúngica

ABSTRACT: In recent years, there has been an increase in the occurrence of fungal diseases in domestic animals, attributed to environmental and management changes. In horses, these infections affect various systems, with the respiratory system being the most critical and potentially fatal. Primary fungal pneumonia in horses is rare, as healthy animals typically fight off the infection. However, when it does occur, diagnosing and treating the disease is challenging, with a frequently reserved prognosis. This study aims to review the causes, clinical manifestations, diagnostic methods, and available treatments for fungal pneumonia in horses.
KEYWORDS: Fungal diseases, horses, pneumonia, fungal pneumonia

INTRODUÇÃO

A ocorrência de doenças fúngicas nos animais domésticos obteve um aumento em sua ocorrência nas últimas décadas, fato que está associado às mudanças ambientais e de manejo animal[1]. Em equinos, as infecções fúngicas podem se manifestar em diversos sistemas como no tegumentar , no oftálmico, no genital, na derme e no respiratório, sendo neste último com caráter crônico, progressivo e potencialmente fatal [2,3].

A pneumonia fúngica em cavalos como condição primária é incomum[4], pois animais hígidos são capazes de debelar a infecção pelo sistema imune, uma vez que muitos dos agentes causadores estão presentes normalmente no ambiente. Quando ocorre contaminação e desenvolvimento da doença, se torna um desafio realizar o diagnóstico e tratamento. O prognóstico para a resolução completa da infecção é frequentemente reservado[2]. O objetivo deste trabalho é revisar as principais causas de pneumonia fúngica em equinos, as manifestações clínicas, os métodos diagnósticos utilizados e os protocolos terapêuticos disponíveis cientificamente.

METODOLOGIA

Para realização dessa revisão, foram utilizadas as ferramentas de pesquisa CAPES, Google Acadêmico e Pubvet, com os termos “doenças fúngicas em equinos”, “pneumonia fúngica” e “doenças respiratórias em equinos”. Os artigos foram selecionados conforme a classificação Qualis da revista e abrangência do tema.

RESUMO DE TEMA

Infecções fúngicas em equinos foram relatadas em todos os níveis do trato respiratório, mas são mais comumente observadas nos seios paranasais, bolsas guturais e pulmões[2]. As micoses que acometem os pulmões resultam em pneumonias fúngicas e tendem a ocorrer quando condições debilitantes da saúde animal favorecem a penetração e/ou crescimento de elementos fúngicos. Os fatores predisponentes à infecção, além da imunossupressão, são as exposições elevadas à cargas fúngicas, baias e estábulos úmidos ou empoeirados e o uso indiscriminado ou prolongado de antimicrobianos[4].

Diversos agentes fúngicos podem promover pneumonia e as manifestações sintomáticas diferem-se a depender da espécie fúngica causadora da doença. As principais patologias micóticas respiratórias em equinos relatadas cientificamente, são Aspergilose, Coccidioidomicose, Criptococose, Histoplasmose e Pneumocystis pneumonia[3,4]. Essas infecções podem apresentar sinais semelhantes, porém os diferentes agentes etiológicos respondem de maneira diversa aos fármacos, afetando o tratamento. Por isso, a caracterização da doença e o diagnóstico são essenciais para o controle das infecções.

Em casos de Aspergilose, a pneumonia é causada por infecção pelas espécies *Aspergillus flavus*, *A. nidulans*, *A. niger* e *A. fumigatus*, sendo a última mais patogênica e prevalente neste grupo[4,6]. A contaminação ocorre por meio da inalação de esporos que estão presentes no ambiente e se estabelece conforme a imunidade do animal[3]. Os sinais clínicos envolvem perda de peso, febre, taquipnéia, ruídos pleurais e pulmonares e com broncopneumonia[2,3,6]. O diagnóstico é dificultado devido a não especificidade dos sintomas clínicos e por este microrganismo estar presente no ambiente, podendo causar contaminações cruzadas nas amostras coletadas. É necessário a junção de anamnese, exame clínico e exames complementares, como o isolamento repetido do organismo ou a demonstração histológica da invasão de tecidos por hifas por meio de biópsia pulmonar e PCR[4]. O uso de ultrassom e raio-x também podem auxiliar no diagnóstico da pneumonia, mas não possibilitam a identificação da espécie causadora. O tratamento da pneumonia por aspergilose é complexo e geralmente associado a um prognóstico desfavorável[3]. Quanto ao tratamento, sugere que o uso de Itraconazole, 3 mg/kg PO, BID, por 30 dias, antifúngico que atua por meio da inibição da síntese da molécula de ergosterol em células fúngicas, Flunixin meglumine 1,1 mg/kg, IV, BID, por três dias, utilizado para controle da reação inflamatória desencadeada no organismo, Trimetoprim Sulfametoxazol ,30 mg/kg,PO, BID, por 7 dias, antibiótico usado na prevenção de doenças bacterianas secundárias, e/ou voriconazol 10 mg/kg PO, SID, por 24 dias - antifúngico que também atua inibindo a síntese da molécula de ergosterol podem apresentar bons resultados[3].

Quanto às pneumonias por Coccidioidomicose, causada por fungos do gênero Coccidioides spp, sendo a principal espécie causadora *Coccidioides immitis* [2,4], a doença ocorre através da inalação de esporos fúngicos presentes no ambiente[7]. As infecções podem ser assintomáticas ou agudas, mas geralmente são autolimitantes. Nestes casos, o cavalo pode apresentar sinais como perda de peso, febre, dor abdominal, granulomas nos pulmões, fígado, rim ou baço, tosse, taquipneia, ruídos pulmonares, além de leucograma inflamatório (hiperproteinemia, hiperfibrinogenemia, leucocitose e neutrofilia), pneumonia intersticial podendo haver ou não derrame pleural ou pericárdico e, quando disseminada, pode ocasionar lesões cutâneas, osteomielite disseminada, mastite, abortos espontâneos acompanhados de placentite e infecção fetal[3,4,7]. O diagnóstico é feito pela associação dos dados clínicos, epidemiológicos e laboratoriais, com auxílio de exame histopatológico, exame microscópico e cultura fúngica dos tecidos lesionados, cuja amostra pode ser obtida

por meio de biópsia, punção de linfonodo e fluido de lavagem brônquica ou exsudatos[2,7]. Quanto ao tratamento, a literatura indica que o uso de Itraconazole 2,6 mg/kg, PO, BID, por 6 meses e fluconazol com dose de carga de 15 mg/kg seguida de 5 mg/kg, PO, SID, por 180 dias - antifúngico triazólico que também atua inibindo a síntese de ergosterol[2,3,7].

Já no caso de pneumonias por Criptococose, o principal agente causador é *Cryptococcus neoformans*, cuja infecção ocorre por inalação acidental de basidiósporos do ambiente[2,3]. Os sinais clínicos não são patognomônicos, devendo o diagnóstico basear-se na detecção e identificação do patógeno nos tecidos infectados. Nas infecções envolvendo o trato respiratório inferior, os cavalos podem apresentar tosse, ruídos pulmonares anormais, secreção nasal, anorexia, febre, queda no desempenho, dor abdominal e granulomas pulmonares[3,5,8]. O diagnóstico de criptococose pulmonar em equinos pode ser feito pela avaliação citológica das secreções respiratórias por amostragem traqueal ou brônquica utilizando teste de aglutinação de antígeno criptocócico de látex com soro[3,4,8]. Para o tratamento, o uso de fluconazol, 5 mg/kg, SID, por 4 semanas e anfotericina B 0,5 mg/kg, por 4 semanas- antifúngico da classe dos polienos que atua ligando-se e alterando especificamente os esteróis da membrana celular das células do fungo, alterando sua permeabilidade [3,8].

Quanto a Histoplasmose, trata-se de infecção oportunista que geralmente resulta em pneumonia autolimitada em indivíduos imunocompetentes[4], causada pela espécie *Histoplasma capsulatum*[7]. Os casos podem ser divididos em: pulmonar aguda com sintomas semelhantes a uma infecção respiratória viral - anorexia, perda de peso, febre, descarga nasal, taquipnéia e depressão; ou pulmonar crônica com formação de granulomas pulmonares, pápulas ou nódulos amarelados na mucosa nasal podendo haver ulceração e pneumonia intersticial; ou disseminada com sinais como diarreia, colite granulomatosa, placentite, aborto espontâneo, ceratite, linfadenopatia generalizada, derrame pleural e peritoneal[3,7,9]. Para o diagnóstico, pode ser feita a histopatologia de tecidos lesionados ou aspirado de linfonodo quando possível, cultura de lavado broncoalveolar, sorologia e teste cutâneo de hipersensibilidade para histoplasmina[3,4,7,10]. O tratamento com anfotericina B e itraconazol apresentaram bons resultados[3,4].

Por fim, quadros de pneumonia pneumocística podem ser causados por fungos do gênero Pneumocystis spp., sendo a espécie mais comum na infecção de equinos a *Pneumocystis carinii*, que apesar de ser considerado fungo, não possui o principal ergosterol fúngico, havendo controvérsias na literatura sobre essa classificação [3,4]. A infecção é mais frequente em potros com menos de 6 meses, porém já foi relatada em animais adultos[11]. Apesar de não colonizar o trato respiratório superior, as partículas do agente se aderem às células alveolares, prejudicando a função pulmonar, com o bloqueio alveolar tem-se alteração do microambiente e o desencadeamento de uma resposta inflamatória, que pode levar a fibrose intersticial[3]. O exame físico pode não revelar anormalidades ou evidenciar sinais clínicos inespecíficos como tosse, ruídos pulmonares anormais, taquipnéia,

taquicardia e pirexia[3]. Radiografias podem auxiliar no diagnóstico, evidenciando áreas de radiopacidade com padrão intersticial-miliar, sendo indicativo de pneumonia intersticial[3,4]. O diagnóstico pode ser realizado por meio de exame citológico e/ou histológico de material/ tecidos pulmonares, lavado broncoalveolar com presença de macrófagos, fagocitando o *P. carinii* ou PCR[3,4,11]. Quanto ao tratamento, o uso de antiinflamatórios não esteroidais podem ajudar no controle da resposta do hospedeiro, sendo o sulfametoxazol-trimetoprima o fármaco de escolha para o tratamento 30 mg/kg, PO, BID,10 dias[3,4].

Percebe-se que as pneumonias fúngicas envolvem sinais clínicos inespecíficos e até mesmo animais assintomáticos, a prevalência de sua ocorrência é baixa e a exclusão dos patógenos mais comuns é necessário antes da possibilidade do diagnóstico fúngico. Entretanto, quando as micoses pulmonares estão presentes o prognóstico se torna reservado, devido a dificuldade de um diagnóstico assertivo, já que muitos desses microrganismos são saprófagos e/ou estão presentes no ambiente. Em relação ao tratamento, os desafios encontrados são a sensibilidade variada entre as espécies fúngicas,o longo tempo da terapia e os custos altos destes fármacos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pneumonias fúngicas geralmente ocorrem por infecções oportunistas associadas a quadros de imunossupressão ou desbalanço da microbiota normal do trato respiratório. A gravidade e progressão da doença variam conforme a dose infectante, o estado imunológico do animal e a virulência da cepa infectante. O que pode resultar em diferentes graus de infecção e afetar a resposta imunológica e terapêutica do animal.

O diagnóstico dessas infecções é complexo e, portanto, precisa da associação de diversos fatores, como anamnese, exame físico e exames complementares. Na terapêutica instaurada quando possível é sempre relevante realizar o tratamento após a identificação da espécie fúngica patogênica.

Torna-se um desafio para os médicos veterinários o diagnóstico das pneumonias fúngicas, já que os sinais clínicos são inespecíficos, o diagnóstico complexo e as respostas aos tratamentos variadas. Dessa forma, é necessário que os proprietários estejam cientes sobre os custos e o prognóstico esperado para o seu animal.

REFERÊNCIAS

FISHER, M.C.; HENK, D.A.; BRIGGS, C.J.; BROWNSTEIN, J.S.; MADOFF, L.C.; MCCRAW, S.L.; GURR, S.J. Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. Nature, 484 (2012), pp. 186-194.

STEWART, A.J.; CUMING, R.S. Update on Fungal Respiratory Disease in Horses. Veterinary Clinics of North America: Equine Practice, Volume 31, Issue 1, April 2015, Pages 43-62.

CAFARCHIA, C.; FIGUEREDO, L.A.; OTRANTO, D. Fungal diseases of horses. Veterinary Microbiology, Volume 167, Issues 1–2, 29 November 2013, Pages 215-234.

HIGGINS, J.C.; PUSTERLA, N. Fungal Pneumonia in Horses. Clinical Techniques in Equine Practice, Volume 5, Issue 3, September 2006, Pages 218-224.

SECOMBE, C.J.; LESTER, G.D.; KROCKENBERGER, M.B. Equine Pulmonary Cryptococcosis: A Comparative Literature Review and Evaluation of Fluconazole Monotherapy. Mycopathologia 182, 413–423 (2017).

HEADLEY, S.A.; DE CARVALHO, P.H.; CUNHA FILHO, L.F.C. et al. Equine Pulmonary Aspergillosis with Encephalitic, Myocardial, and Renal Dissemination. Mycopathologia 177, 129–135 (2014).

Brilhante, R.S.N.; Bittencourt, P.V.; Lima, R.A.C.; Branco, D.C.; Oliveira, J.S.; Pinheiro, A.; Cordeiro, R.; Camargo, Z.P.; Sidrim, J.J.C.; Rocha, M.F.G. Coccidioidomycosis and Histoplasmosis in Equines: An Overview to Support the Accurate Diagnosis. Journal of Equine Veterinary Science, Volume 40, May 2016, Pages 62-73.

Secombe, C.J., Lester, G.D. & Krockenberger, M.B. Equine Pulmonary Cryptococcosis: A Comparative Literature Review and Evaluation of Fluconazole Monotherapy. Mycopathologia, 182, 413–423 (2017).

Rezabek, G.B.; Donahue, J.M.; Giles, R.C.; Petrites-Murphy, M.B.; Poonacha, K.B.; Rooney, J.R. et al. Histoplasmosis in horses. J Comp Pathol, 109 (1993), pp. 47-55.

Gabal, M. A.; Khalifa, K. Study on the Immune Response and Serological Diagnosis of Equine Histoplasmosis (Epizootic Lymphangitis). Zoonoses and Public Health, Volume30, Issue1-10, January-December 1983, Pages 317-321.

Ueno, T.; Niwa, H.; Kinoshita, Y.; Katayama, Y.; Hob, S. Pneumocystis Pneumonia in a Thoroughbred Racehorse. Journal of Equine Veterinary Science, Volume 34, Issue 2, February 2014, Pages 333-336.

APOIO

EMIE
Estudos em Medicina Interna Equina
UFMG

Clínica de Equinos
UFMG

Escola de Veterinária
UFMG

UFMG

CAPÍTULO 13

PROTEÍNAS, AMINOÁCIDOS E VARIÁVEIS METABÓLICAS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

Data de submissão: 08/03/2024 *Data de aceite: 01/04/2024*

Vanessa Ferreira Batista
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
https://lattes.cnpq.br/9422418524242720

Maylanne Sousa de Lima
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
https://lattes.cnpq.br/6517309368351180

Rafael Silva Marchão
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) Petrolina - PE
http://lattes.cnpq.br/2846114784139547

Felipe Barbosa Ribeiro
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
http://lattes.cnpq.br/5843372571035012

Marcos Antonio Delmondes Bomfim
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
http://lattes.cnpq.br/2299520175860743

Gilmar Amaro Pereira
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) Petrolina – PE
http://lattes.cnpq.br/0224665947793484

Geisiane Silva Sousa
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
http://lattes.cnpq.br/1089026314431242

Vanilsa Chaves de Sousa
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
http://lattes.cnpq.br/0640928052485717

Milena Sousa Veiga
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
http://lattes.cnpq.br/7455478170695732

Luana Cardoso Silva
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
https://lattes.cnpq.br/2108295239911349

Marcos Vinicius Silva Bastos
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Chapadinha – MA
http://lattes.cnpq.br/1508407677611548

Antonia Francisca Lima Cardoso
Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA) Amarante do Maranhão – MA
http://lattes.cnpq.br/2440063915138440

RESUMO: A piscicultura no Brasil é representada por Tilápias, Carpas, Trutas e Pangasius. É considerada uma das principais fontes de renda para milhares de brasileiros e ocupa o 4° lugar em produção mundial. Para o êxito no cultivo de peixes é necessário o atendimento da exigência dietética de aminoácidos, a fim de evitar a limitação no desempenho dos peixes. O requerimento aminoacídico varia diante dos estágios de vida, hábito alimentar e ainda pode ser recomendado com valores alterados devido às condições da qualidade da água e estado de saúde dos peixes. As análises hematológicas, plasmáticas e hepáticas são ferramentas complementares na piscicultura, uma vez que, auxiliam na determinação do bem-estar dos animais por meio das análises de hematócrito, contagem de eritrócitos, níveis de colesterol total, triglicerídeos, proteínas totais, glicose, albumina, concentração de hemoglobina, índices hematimétricos e ainda atividade enzimática de AST.
PALAVRAS-CHAVE: Piscicultura; hematologia; hepático

PROTEINS, AMINO ACIDS AND METABOLIC VARIABLES IN FISH NUTRITION

ABSTRACT: Fish farming in Brazil is represented by Tilapia, Carp, Trout and Pangasius. It is one of the main sources of income for thousands of Brazilians and ranks 4th in world production. To be successful in fish farming, it is necessary to meet the dietary requirement for amino acids, in order to avoid limiting the performance of the fish. The amino acid requirement varies depending on life progress and eating habits and can even be recommended with altered values due to water quality conditions and the health status of the fish. Hematological, plasma and liver analyzes are complementary tools in fish farming, as they help determine the well-being of animals through analyzes of hematocrit, erythrocyte count, levels of total cholesterol, triglycerides, total proteins, glucose, albumin , hemoglobin concentration, hematimetric indices and even AST enzymatic activity.
KEYWORDS: Pisciculture; hematology; hepatic

PISCICULTURA NO BRASIL

No Brasil, a piscicultura engloba pequenos e grandes produtores, gerando fonte de renda e mantendo cerca de 1 milhão de pessoas formalmente empregadas (PEIXE BR, 2022). Atualmente, o Brasil é o 4° maior produtor de peixes do mundo e o sucesso de produção nessa área é atribuído principalmente ao consumo brasileiro, o que gerou no ano de 2021 cerca de 841.005 toneladas de produção, culminando em um crescimento de 4,7% em comparação ao ano de 2020, onde foram produzidas 802.930 toneladas (PEIXE BR, 2022).

A exportação de peixes inteiros, congelados, filés e refrigerados oriundos da piscicultura brasileira para os Estados Unidos, Colômbia, China e Chile também apresentou um aumento expressivo no ano de 2021, com um acréscimo de 78% em relação ao ano de 2020, refletindo o sucesso de cultivo e produção da piscicultura brasileira (COMEXSTAT, 2022; PEIXE BR, 2022).

Dentre as espécies mais cultivadas no ranking global, destacam-se a Tilápia, Pangasius e Salmão (FAO, 2020; PEIXE BR, 2022). Enquanto que, no Brasil, os peixes exóticos mais representativos para a piscicultura são Tilápias, Carpas, Trutas e Pangasius, assim como as espécies nativas Tambaqui (PEIXE BR, 2022).

Desse modo, para que o crescimento desse setor permaneça crescente, se faz necessário o uso de novas tecnologias e incremento de espécies que possuem alto potencial de cultivo (SILVA et al., 2018).

PROTEÍNAS E AMINOÁCIDOS

A proteína é um macronutriente formado por aminoácidos unidos por ligações peptídicas, sendo considerado o composto orgânico mais caro das dietas (NRC, 2011; LIMA et al., 2015). As proteínas desempenham papéis importantes no organismo animal, como substrato para produção de enzimas, anticorpos, hormônios e tecido muscular, atendendo as necessidades básicas e vitais dos animais (FRACALOSSI e CYRINO, 2013).

A proteína está presente nos tecidos de todos os animais, sendo considerada o principal componente da estrutura corporal e visceral do organismo (WU, 2013). No entanto, para a devida utilização da proteína da dieta (formação de tecido muscular, produção de enzimas e proteínas transportadoras, por exemplo), são necessários processos fisiológicos e metabólicos que envolvem desde a digestão da macromolécula até a absorção dos peptídeos e aminoácidos pelos enterócitos (células da mucosa intestinal, responsáveis pela absorção dos nutrientes) e transporte pela corrente sanguínea, até a chegada nas células (WILSON, 2002; NRC, 2011).

No entanto, os peixes, assim como os animais terrestres, não possuem exigência metabólica no que diz respeito a proteína, mas sim de um equilíbrio entre os aminoácidos essenciais e não essenciais (WILSON, 2002) que, dentre os mais de 200 existentes na natureza, o total de 20 aminoácidos são comumente encontrados como componentes das proteínas corporais, sendo 10 aminoácidos essenciais e não essenciais (Tabela 1) (WILSON, 2002; MCDONALD et al., 2010; NRC, 2011; CRAIG, 2017).

Os aminoácidos essenciais são aqueles que não podem ser sintetizados pelo organismo animal, ou apresentam uma síntese lenta em relação a exigência metabólica do animal, sendo estes obrigatórios no fornecimento na dieta. Enquanto que os não essenciais, são aqueles sintetizados pelo organismo do animal, usando como substrato outro aminoácido da dieta (LI et al., 2009; NRC, 2011; CAVALHEIRO et al., 2014; RODRIGUES, 2019).

Aminoácidos essenciais	Abreviação	Aminoácidos não essenciais	Abreviação
Lisina	Lys	Cistina	Cys
Metionina	Met	Tirosina	Tyr
Treonina	Thr	Glicina	Gly
Triptofano	Trp	Serina	Ser
Valina	Val	Alanina	Ala
Histidina	His	Aspartato	Asp
Isoleucina	Ile	Glutamino	Glu
Leucina	Leu	Prolina	Pro
Arginina	Arg	Asparagina	Asn
Fenilalanina	Phe	Glutamato	Gln

Tabela 1. Aminoácidos proteicos essenciais e não essenciais, seguidos de suas abreviações

Adaptado: NRC (2011)

A lisina é um dos primeiros aminoácidos essenciais limitantes em ingredientes vegetais, como milho, usado na formulação de dietas para peixes, além de ser encontrada em grande proporção na carcaça desses animais (FURUYA et al., 2004). Desse ponto de partida, a lisina - assim como metionina, treonina e triptofano - são alvos de estudos constantes, pois em quantidades balanceadas, proporciona maior ganho de peso, deposição de proteína e melhora na conversão alimentar (FURUYA et al., 2006; SILVA et al., 2018; MARCHÃO et al., 2020).

O crescimento dos peixes está condicionado ao fornecimento dos aminoácidos dietéticos, tomando como base os valores digestíveis (fração de aminoácidos perdidos nas fezes) (FURUYA et al., 2001), uma vez que, dietas formuladas levando em conta apenas o teor de proteína bruta (nitrogênio total da amostra X 6,25) pode não garantir o atendimento das exigências de todos os aminoácidos, principalmente os essenciais, limitando o desenvolvimento do animal (BOMFIM, 2013). Enquanto que seu excesso promove redução no desempenho, pela necessidade da excreção de resíduos nitrogenados (amônia) no ambiente aquático com elevado custo energético (BOTARO et al., 2007; CYRINO, 2010; NRC, 2011; BOMFIM, 2013).

Uma forma de minimizar a deficiência do aminoácido essencial na dieta é a suplementação deste aminoácido na forma sintética. Já o efeito ocasionado pelo excesso de aminoácidos na dieta, pode ser minimizado com a redução da proteína bruta na dieta e a suplementação dos aminoácidos limitantes na forma sintética, proporcionando o balanceamento entre os aminoácidos (BOTARO et al., 2007; QUADROS et al., 2009).

LISINA NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

A lisina é o aminoácido essencial com maior número de estudos na nutrição de peixes, pelo fato de ser encontrada em maior proporção na carcaça desses animais, uma vez que, apresenta função quase que exclusiva na deposição de proteína corporal (NRC, 2011; ABIMORAD et al., 2010; MARCHÃO et al., 2020). Dentre todos os aminoácidos essenciais, a lisina geralmente é um dos primeiros limitantes, principalmente quando a fonte proteica é de origem vegetal (DA COSTA SOUSA et al., 2021).

A lisina, assim como a metionina, possivelmente participa da síntese da carnitina, molécula que atua como transportadora dos ácidos graxos para a mitocôndria, onde ocorre a geração de energia através da β-oxidação (ADABI et al., 2011). Além disso, esse aminoácido indispensável, assim como a leucina, é um aminoácido cetogênico, sendo incapaz de ser precursor da glicose através do seu esqueleto carbônico. Contudo, pode produzir corpos cetônicos, gerando moléculas intermediárias como acetoacetil-CoA ou acetil-CoA, importantes componentes para síntese de energia metabólica (NELSON e COX, 2011; CAMPELO et al., 2018).

A suplementação de lisina em dietas deficientes deste aminoácido para peixes, proporciona aumento no ganho de peso, melhora da conversão alimentar, redução de gordura na carcaça e maior retenção de nitrogênio (MARCHÃO et al., 2020; TEIXEIRA et al., 2020). Em contrapartida, sua deficiência na dieta ocasiona impacto negativo no desempenho de peixes, devido a limitação de síntese proteica (FURUYA et al., 2004; NRC, 2011). Já o excesso de lisina provoca catabolismo, devido a incapacidade de armazenamento dos aminoácidos e competição por sítios de absorção em função da semelhança na estrutura química com arginina, além de promover a excreção de compostos nitrogenados no ambiente aquático, provocando eutrofização (poluição do ambiente aquático) (NRC, 2011; BOMFIM, 2013). Assim, para que a suplementação seja adequada, é imprescindível o conhecimento sobre o requerimento aminoacídico dietético da espécie (FURUYA et al., 2004), conforme exemplificado na Tabela 2.

Espécie	**Exigência (% da dieta)**	**Tamanho (g)**	**Modelo estatístico**	**Referências**
Jundiá (*Rhamdia quelen*)	3,0 - 6,5	1,4	Broken line e Regressão polinomial	Montes-Girão e Fracalossi (2006)
Salmão do Atlântico (*Salmo salar*)	0,4 - 5,6	4,7 – 642	Equação exponencial	Espe et al. (2007)
Tambaqui (*Colossoma macropomum*)	1,73 - 1,58	0,34 – 23	LRP – Regressão polinomial	Silva et al., (2018); Marchão et al., (2020).
Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)	1,04 - 1,9	0,04 - 5,7	Broken-line; Regressão	Santiago e Lovell (1988); Furuya et al., (2006)

Tabela 2. Exigência de lisina (% da dieta) para alguns peixes carnívoros e onívoros

No entanto, as dietas fornecidas aos peixes devem ser ajustadas levando em consideração alguns fatores, como estágio de vida (alevino, juvenil, adulto) e hábito alimentar da espécie (carnívoro, onívoro, herbívoro, detritívoro) visto que as necessidades dietéticas são distintas (WILSON, 2002; NRC, 2011). Além disso, ao determinar o requerimento de lisina para peixes, deve-se atentar as condições físico-químicas da água (pH, oxigênio, nitrito, amônia) e estado de saúde, pois são fatores que podem alterar o nível recomendado (NETA et al., 2023). Outro fator relevante é a energia dietética, uma vez que, dietas com elevado teor energético reduzem o consumo, enquanto que rações com níveis abaixo da exigência, provocam o catabolismo dos aminoácidos, a fim de suprir a demanda energética (NRC, 2011; WU, 2013) podendo interferir no valor a ser recomendado.

PARÂMETROS HEMATOLÓGICOS, HEPÁTICOS E BIOQUÍMICOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

As análises sanguíneas e plasmáticas são ferramentas que auxiliam na determinação do bem-estar dos animais e suscetibilidade a doenças, sendo amplamente utilizadas em estudos para determinação de exigências nutricionais (MARCHÃO et al., 2023; AROUCHA et al., 2023). O uso dessa metodologia é atribuído a facilidade da coleta de amostras sem necessidade de levar o peixe a óbito, devido a sucinta quantidade de sangue coletadas para inúmeras análises.

Tais parâmetros, servem de indicadores do estado fisiológico dos peixes, em resposta a nutrientes, estresse e doenças (PEDRO et al., 2005). Assim, sabendo que o estado fisiológico dos peixes responde em função de nutrientes, alterações ambientais e doenças, essa metodologia vem ganhando espaço e destaque em estudos com peixes, uma vez que, auxilia de forma pertinente na elaboração de estratégias voltadas ao bem-estar animal, atreladas a nutrição (MARCHÃO et al., 2022).

Por meio da coleta de sangue é possível diagnosticar a quantidade de eritrócitos, níveis de colesterol total, triglicerídeos, proteínas totais, glicose, albumina, hematócrito e concentração de hemoglobina (MACEDO et al., 2023; ROCHA et al., 2023).

O fígado é um órgão vital e exerce importantes funções metabólicas no organismo dos peixes (NRC, 2011). Além disso, é o local de deposição da maior parte do glicogênio (reserva de glicose), atuando na regulação dos níveis de glicose no sangue (OLIVEIRA et al., 2022; MARCHÃO et al., 2023) e atua na produção de enzimas importantes no processo metabólico e digestivo de nutrientes, como proteínas e lipídeos (RAŠKOVIĆ et al., 2011).

Dessa forma, considerando a importância do fígado e suas funções, as análises hepáticas, como atividade das enzimas aminotransferase (AST e ALT) e concentração do glicogênio hepático, são considerados importantes indicadores na determinação do estado fisiológico dos peixes e utilizadas em estudos voltados a nutrição e bem-estar animal (ROCHA et al., 2023; AROUCHA et al., 2023).

REFERÊNCIAS

ABIMORAD, E. G.; FAVERO, G. C.; SQUASSONI, G. H.; CARNEIRO, D. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture Nutrition**. Malden: Wiley-blackwell, v. 16, n. 4, p. 370-377, 2010. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x

ADABI, S. G.; COOPER, R. G.; CEYLAN, N.; CORDUK, M. L-carnitine and its functional effects in poultry nutrition. **World's poultry science journal**, v. 67, n. 2, p. 277-296, 2011. https://doi.org/10.1017/S0043933911000304

AROUCHA, R. J. N.; RIBEIRO, F. B.; BOMFIM, M. A. D.; DE SIQUEIRA, J. C.; MARCHÃO, R. S.; DO NASCIMENTO, D. C. N. Digestible methionine plus cystine requirement in tambaqui (*Colossoma macropomum*) diets: Growth performance and plasma biochemistry. **Aquaculture Reports** 32:101725, 2023. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101725

BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; DONZELE, J. L.; QUADROS, M.; RIBEIRO, F. B.; SOUSA, M. P. D. Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1-8, 2010. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001

BOMFIM, M. A. D., (2010). Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *39*, 1-8.

BOMFIM, M. A. D. Estratégias Nutricionais para Redução das Excreções de Nitrogênio e Fósforo nos Sistemas de Produção de Peixes no Nordeste: Sustentabilidade Ambiental e Aumento da Produtividade. **Revista Cientifica de Produção Animal**, v.15, n.2, p.122-140, 2013. http://dx.doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v15n2p122-140

BOTARO, D.; FURUYA, W. M.; SILVA, L. C. R.; SANTOS, L. D. D.; SILVA, T. S. D. C.; SANTOS, V. G. D. Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques rede. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.3, p.517-525, 2007. https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000300001

CAMPELO, D. A. V.; SALARO, A. L.; LADEIRA, A. L. F.; MOURA, L. B. D.; FURUYA, W. M. Dietary lysine requirement of adult lambari (*Astyanax altiparanae*) (Garutti and Britski, 2000). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.47, 2018. https://doi.org/10.1590/rbz4720160325

CAVALHEIRO, A. C. M.; CASTRO, M. L. S.; EINHARDT, M.; POUEY, J. L. O. F.; PIEDRAS, S. N.; XAVIER, E. G. Microingredientes utilizados em alimentação de peixes em cativeiro–Revisão. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v.109, p.11-20, 2014.

COMEXSTAT/Ministério da Economia. **Exportação e Importação Geral**. Disponível em: http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral. Acesso em 26 outubro de 2022.

CRAIG, S. R.; HELFRICH, L. A.; KUHN, D.; SCHWARZ, M. H. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding, 2017.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, Á. J. D. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIK, J. K. A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Braseira Zootecnia**, v.39, p.68-87, 2010. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300009

DA COSTA SOUSA, M.; BOMFIM, M. A. D.; RIBEIRO, F. B.; DE SIQUEIRA, J. C.; MARCHÃO, R. S.; DE SOUSA, T. J. R.; TAKISHITA, S. S. Lysine requirements of tambatinga (*Colossoma macropomum× Piaractus brachypomus*) fingerlings using different diet formulation techniques. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, n. 6, p. 1825-1836, 2021. https://doi.org/10.1111/anu.13320

DIOGENES, A. F.; FERNANDES, J. B. K.; DORIGAM, J. C. P.; SAKOMURA, N. K.; RODRIGUES, F. H. F.; LIMA, B. T. M.; GONÇALVES, F. H. Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by deletion method. **Aquaculture nutrition**, v.22, n.2, p.435-443, 2016. https://doi.org/10.1111/anu.12262

ESPE, M.; LEMME, A.; PETRI, A.; EL-MOWAFI, A. Assessment of lysine requirement for maximal protein accretion in Atlantic salmon using plant protein diets. **Aquaculture,** v.263, n. 1-4, p.168-178, 2007. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.018

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome, Italy: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Retrieved from https://doi.org/10.4060/ca9229en

FISHBASE, *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) Striped catfish. Disponível em: https://www.fishbase.de/Summary/SpeciesSummary.php?ID=14154&AT=panga. acesso em: 10 de outubro de 2022.

FRACALOSSI, D. M.; CYRINO, J. E. P. Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Florianópolis: **Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática**, v. 375, 2013.

FORSTER, I.; OGATA, H. Y. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream Pagrus major. **Aquaculture**, v.161, p.131-142, 1998. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00263-9

FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; PEZZATO, A. C.; BARROS, M. M.; MIRANDA, E. C. D. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.4, 2001. https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000500002

FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; NEVES, P. R.; SILVA, L. C. R.; HAYASHI, C. Exigência de lisina pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase de terminação. **Ciência Rural**, v.34, p. 1933-1937, 2004. https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500038

FURUYA, W. M.; SANTOS, V. G. D.; SILVA, L. C. R.; FURUYA, V. R. B.; SAKAGUTI, E. S. Exigência de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p. 937-942, 2006. https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000400001

FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; BOSCOLO, W. R.; CYRINO, J. E. P.; FURUYA, V. R. B.; FEIDEN, A. **Tabelas brasileiras para nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010. 100p.

HOQUE, M. S.; HAQUE, M. M.; NIELSEN, M.; RAHMAN, M. T.; HOSSAIN, M. I.; MAHMUD, S.; MANDAL, A. K.; FREDERIKSEN, M.; LARSEN, E. P. Prospects and challenges of yellow flesh pangasius in international markets: secondary and primary evidence from Bangladesh. **Heliyon**, v. *7*, n. 9, 2021. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08060

HUNG, L. T.; CACOT, P.; LAZARD, J. Larval Rearing of the Mekong catfish, *Pangasius bocourti* (Pangasiidae, Siluroidei): Substitution of Artemia nauplii with live and artificial feed. **Aquatic Living Resources**, v.12 (3), p.229-232, 1999. https://doi.org/10.1016/S0990-7440(00)88473-9

HUNG, L. T.; HUY, H. P. V. Análise de rações e fertilizantes para o desenvolvimento sustentável da aquicultura no Vietnã. In: ***Estudo e Análise de* Rações e Fertilizantes para o Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura**. Documento Técnico de Pesca da FAO, Roma: FAO, n. 497, p.331-361, 2007.

LI, P.; MAI, K.; TRUSHENSKI, J.; WU, G. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. **Amino acids**, v.37, n.1, p. 43-53, 2009. https://doi.org/10.1007/s00726-008-0171-1

LIMA, C. S.; BOMFIM, M. A. D.; SIQUEIRA, J. C. D.; FIRMO, D. D. S.; RIBEIRO, F. B.; LANNA, E. A. T. Crude protein reduction with amino acid supplementation in tambaqui fingerling diets. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.6Supl2, p.4531-4540, 2015. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4531

MACEDO, J. D. S.; COPATTI, C. E.; COSTA, E. V.; DA SILVA, F. M. A.; DUTRA, L. M.; SANTOS, V. L. D. A.; Almeida, J. R. G. S.; Tavares-Dias, M.; MELO, J. F. B. Effects of Citrus limon extract on growth performance and immunity in striped catfish *(Pangasius hypophthalmus*). **Aquaculture International**, v.31, pag. 719-738, 2023. https://doi.org/10.1007/s10499-022-00995-4

MARCHÃO, R. S.; RIBEIRO, F. B.; DE SIQUEIRA, J. C.; BOMFIM, M. A. D.; SILVA, J. C.; DE SOUSA, T. J. R.; NASCIMENTO, D. C. N.; DA COSTA SOUSA, M. Digestible lysine requirement for Tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles using the diet dilution technique. **Aquaculture Reports**, v.18, p.100482, 2020. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100482

MARCHÃO, R. S.; RIBEIRO, F. B.; BOMFIM, M. A.; PEREIRA, G. A.; ROCHA, A. D. S.; VIDAL, L. V.; COPATTI, C. E.; MELO, J. F. Digestible threonine requirement in tambaqui (*Colossoma macropomum*) diets: growth, body deposition, haematology and metabolic variables. **Aquaculture Reseach**, v.53, p.5697–5709, 2022. https://doi.org/10.1111/are. 16051

MARCHÃO, R. S.; COPATTI, C. E.; RIBEIRO, F. B.; BOMFIM, M. A. D.; DE LIMA, M. S.; BATISTA, V. F.; ROCHA, A. S.; PEREIRA, G. A.; COSTA, T. S.; ROCHA, D. R.; VIDAL, L. V. O.; MELO, J. F. B. Evaluation of dietary tryptophan requirement on growth, whole-body composition, and hematobiochemical parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in the fattening phase. **Aquaculture International**, p.1-20, 2023 https://doi.org/10.1007/s10499-023-01179-4

MCDONALD, P. **Animal Nutrition**. 7th Edition. London: Pearson Education. 2010.

MONTES-GIRAO, P. J.; FRACALOSSI D. M. Dietary lysine requirement as basis to estimate the essential dietary amino acid profile for jundia, *Rhamdia quelen*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.37, p.388-396, 2006. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00052.x

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of fish and shrimp**. National. Academy Press, Washington, DC, USA, 2011.

NAYLOR, R. L.; HARDY, R. W., BUSCHMANN, A. H., BUSH, S. R., CAO, L., KLINGER, D. H., LITTLE, D. C..; LUBCHENCO, J.; SHUMWAY, S. E.; TROELL, M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. **Nature**, v.591 (7851), p.551-563, 2021. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger - princípios de bioquímica**, Artmed, Porto Alegre, Brazil, 2011.

NETA, M. G. S.; LIMA, M. S.; BATISTA, V.F.; SOUSA, G. S.; BASTOS, M. V. S.; SOUSA, V. C.; VEIGA, M. S.; SILVA, M. F.; BOMFIM, M. A. D.; RIBEIRO, F. B.; MELO, J. F. B.; MARCHÃO, R. S. Exigência de aminoácidos para peixes redondos. In: **Ciências veterinárias, patologias, saúde e produção animal.** Atena, 2023. p. 123.

OLIVEIRA, I. C.; OLIVEIRA, R. S. M.; LEMOS, C. H. D. P.; DE OLIVEIRA, C. P. B.; FELIX E SILVA, A.; LORENZO, V. P.; LIMA, A. O.; CRUZ, A. L.; COPATTI, C. E. Essential oils from *Cymbopogon citratus* and Lippia sidoides in the anesthetic induction and transport of ornamental fish *Pterophyllum scalare*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.48, p.501–519, 2022. https://doi.org/10.1007/s10695-022-01075-3

ORBAN, E. NEVIGATO, T.; DI LENA, G.; MASCI, M.; CASINI, I.; GAMBELLI, L. CAPRONI, R. New trends in the seafood market. Sutchi catfish (*Pangasius hypophthalmus*) fillets from Vietnam: Quality and nutritional safety aspects. **Food Chemistry**, v.110, n.2, p.383-389, 2008. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.014

PEDRO, N.; GUIJARRO, A. I.; LÓPEZ-PATIÑO, M. A.; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, R.; DELGADO, M. J. Daily and seasonal variations in haematological and blood biochemical parameters in the tench, *Tinca tinca* Linnaeus, 1758. **Aquaculture research**, v.36, n.12, p.1185-1196, 2005. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01338.x

PEIXE BR. Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário peixe BR da piscicultura** (2022) São Paulo.

PINCINATO, R. B. M.; OGLEND, A.; BERTOLINI, R. M. B.; MUÑOZ, A. E. P. The São Paulo wholesale seafood market: A study of fish prices in Brazil. **Aquaculture Economics & Management**, v.26(3), p.259-282, 2022.

QUADROS, M.; LANNA, E. A. T.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T. D.; RIBEIRO, F. B.; TAKISHITA, S. S. Crude protein reduction and digestible methionine+ cystine and threonine to digestible lysine ratios in diets for Nile tilapia fingerlings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1400-1406, 2009. https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000800002

RACHMAWATI, D.; NURHAYATI, D. Effect of dietary lysine on the growth performance of *Pangasius hypophthalmus*. **Depik**, v.11, n.2, p.111-116, 2022.

RACHMAWATI, P. D.; SAMIDJANP I.; NURHAYATIP D.; RIYADIP, P. H.; SETYOBUDIP, R. H.; ANNEET, O. Effects of Dietary Lysine for River Catfish Juveniles on Protein Digestibility and Body Composition. **Biological**, v.16, p.165-170, 2023. https://doi.org/10.54319/jjbs/160120

RAŠKOVIĆ, B.; STANKOVIĆ, M.; MARKOVIĆ, Z.; POLEKSIĆ, V. Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. **Journal of Agricultural Sciences** (Belgrade), v.56, p.87-100, 2011.

ROBINSON, E. H. WILSON, R. P.; POE, W. E. Re-evaluation of the lysine requirement and lysine utilization by fingerling channel catfish. **The Journal of nutrition**, v.110, n.11, p.2313-2316, 1980.

ROCHA, A. D. S.; ROCHA, A. D. S.; COPATTI, C. E.; MARCHÃO, R. S.; COSTA, T. S.; SANTANA, G. S.; COELHO, M. C.; PEREIRA, G. A..; ROCHA, D. R.; CAMARGO, ANTÔNIO, C. S.; RIBEIRO, F. B.; BOMFIM, M. A. D.; MELO, J. F. B. Assessment of methionine plus cystine requirement of tambaqui (*Colossoma macropomum*) based on zootechnical performance, body composition, erythrogram, and plasmatic and hepatic metabolites. **Veterinary Resech Community**, p.1-15, 2023. https://doi.org/10.1007/s11259-023-10175-1

RODRIGUES, A. T. **Perfil ideal de aminoácidos essenciais em dietas para tilápia-do-nilo, na fase de terminação, pelo método de deleção**. Dissertação (Pós-graduação), Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, Jaboticabal, São Paulo, 2019.

ROLLIN, X.; MAMBRINI, M.; ABBOUDI, T.; LARONDELLE, Y.; KAUSHIK, S. J. The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) fry. **British Journal of Nutrition**, v.90, n.5, p.865-876, 2003. https://doi.org/10.1079/BJN2003973

SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. D.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2014.

SANTIAGO, C. B.; LOVELL, R. T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. **The journal of nutrition**, v.118, n.12, p.1540-1546, 1988. https://doi.org/10.1093/jn/118.12.1540

SILVA, J. C.; BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; RIBEIRO, F. B.; DE SIQUEIRA, J. C.; DE SOUSA, T. J. R.; MARCHÃO, R. S.; DO NASCIMENTO, D. C. N. Lysine requirement for tambaqui juveniles. **Semina: Ciências Agrárias**, v.39, n.5, p.2157-2168, 2018. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2157

TEIXEIRA, S. O.; NUNES, Z. M. P.; JUNIOR, A. D. S. P.; SALARO, A. L.; DE MOURA, L. B.; VERAS, G. C.; CAMPELO, D. A. V. Optimal dietary lysine improves growth performance, increases protein deposition and reduces lipid accumulation in tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles. **Aquaculture Research**, v.51, n.12, 5065-5073, 2020. https://doi.org/10.1111/are.14845

WILSON, R. P.; HARDING, D. E.; GARLING JR, D. L. Effect of dietary pH on amino acid utilization and the lysine requirement of fingerling channel catfish. **Journal Nutrition**, v.107, p.166-170, 1977. https://doi.org/10.1093/jn/107.1.166

WILSON, R. P. Amino acids and proteins. In: **Halver, J. E. e Hardy, R. W**. (Ed). Fish Nutrition. Orlando: Academic Press, p.144-179, 2002.

WILSON, R. P. Amino Acid Requirements of Finfish and Crustaceans. In: D'mello, J. P. F. (Ed.). **Amino Acids in Animal Nutrition**. 2. ed. Wallingford, England: CABI Publishing, 2003. p. 427-447.

WU, G. **Amino acids: Biochemistry and nutrition**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2013.

CAPÍTULO 14

EXPLORANDO O PAPEL DAS BACTÉRIAS PRODUTORAS DE ACC DESAMINASE NO CRESCIMENTO DO TRIGO (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Data de aceite: 01/04/2024

Clarissa Castoldi Facco
http://lattes.cnpq.br/7781929390774155

Nataniel de Oliveira Amarante
http://lattes.cnpq.br/5916353798822680

Christiane Fernandes de Oliveira
http://lattes.cnpq.br/1581998066031441

Jorge Andres Betancur Gonzalez
https://orcid.org/0000-0002-6777-3361

Paulo Henrique da Silva Câmara
https://orcid.org/0000-0002-2964-7866

Raphael Ramon Buch
https://lattes.cnpq.br/8861530678280477

Vitória dos Santos Alves
https://lattes.cnpq.br/4401980715749803

Euvaldo de Sousa Costa Junior
https://orcid.org/0000-0003-3359-4944

Victor Roberto da Silva
http://lattes.cnpq.br/2287402190969333

Elelan Vitor Machado
http://lattes.cnpq.br/9185497597006417

Bruna da Rosa Dutra
http://lattes.cnpq.br/5465236195452838

Fernando Luis Diniz D'Avila
https://orcid.org/0009-0001-8644-0351

RESUMO: O trigo é um dos cereais mais importantes cultivados globalmente. No Brasil, a produção atual é insuficiente para suprir a demanda interna, devido a dificuldades no manejo e à alta necessidade de fertilizantes químicos. No entanto, o trigo pode se associar a microrganismos promotores do crescimento vegetal. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo testar isolados de bactérias produtoras de ACC desaminase em trigo e seu efeito na promoção do crescimento, estado nutricional e atividade fotossintética. Para tanto, 11 isolados bacterianos foram inoculados em trigo, com sete repetições, e cultivados em casa de vegetação por 42 dias. Ao final do experimento, foram avaliadas a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila a, clorofila b e carotenoides) e teores e acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na MSPA. Foram encontradas diferenças significativas em todos os parâmetros avaliados, com exceção do teor de magnésio na MSPA. Entre as bactérias testadas, aquelas que promoveram maior produção de biomassa vegetal foram *Achromobacter insolitus, Arthrobacter spp., Pseudomonas arsenicoxydans, Pantoea*

cypripedii adu *Pseudomonas mohnii*. Esses isolados, além de promoverem maior crescimento vegetal, também contribuíram para uma maior absorção de nutrientes pelas plantas (P, K, N e Ca), destacando-se como potenciais para uso na agricultura.
PALAVRAS-CHAVE: BPCP. Microrganismos. Macronutrientes. Pigmentos fotossintéticos.

EXPLORING THE ROLE OF ACC DEAMINASE BACTERIA IN THE GROWTH OF WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

ABSTRACT: Wheat is one of the most important globally cultivated cereals. In Brazil, current production is insufficient to meet domestic demand, due to difficulties in management and the high need for chemical fertilizers. However, wheat can associate with plant growth-promoting microorganisms. In this context, the present study aimed to test isolates of ACC deaminase-producing bacteria in wheat and their effect on growth promotion, nutritional status, and photosynthetic activity. For this purpose, 11 bacterial isolates were inoculated into wheat, with seven repetitions, and grown in a greenhouse for 42 days. At the end of the experiment, shoot dry mass, root dry mass, photosynthetic pigment levels (chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids), and levels and accumulation of macronutrients (N, P, K, Ca, and Mg) in the shoot dry mass were evaluated. Significant differences were found in all parameters evaluated, except for the magnesium content in the shoot dry mass. Among the tested bacteria, those that promoted the highest plant biomass production were *Achromobacter insolitus, Arthrobacter spp., Pseudomonas arsenicoxydans, Pantoea cypripedii,* and *Pseudomonas mohnii*. These isolates, in addition to promoting greater plant growth, also contributed to increased nutrient uptake by plants (P, K, N, and Ca), standing out as potential candidates for use in agriculture.
KEYWORDS: PGPB. Microorganisms. Macronutrients. Photosynthetic pigments.

INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.), espécie anual pertencente à família Poaceae, é considerada uma das culturas mais importantes na produção agrícola mundial, constituindo parte essencial da alimentação humana na forma de farinhas, pães e outros derivados, além de ser utilizado como ração na produção animal (EMBRAPA, 2016). Trata-se do segundo cereal de maior produção em nível global. O Brasil ocupa a 16ª posição mundial, sendo a região sul responsável por 91% de toda a produção brasileira (CONAB, 2022), devido à adaptação da espécie às temperaturas mais baixas encontradas nessa região. Em 2021, a produção brasileira de trigo atingiu 7,7 milhões de toneladas (CONAB, 2022), enquanto o consumo médio anual no país é estimado em 12 milhões de toneladas (ABITRIGO, 2021), o que torna a produção atual insuficiente para atender à demanda interna.

Os cultivos de trigo no Brasil são, em sua grande maioria, dependentes de fertilizantes minerais. O aumento dos preços desses insumos nos últimos anos tem causado preocupação aos agricultores e consumidores finais, visto que o aumento dos custos de produção reflete na redução da margem de lucro para o produtor e no aumento do preço do produto para o consumidor final. Um dos nutrientes limitantes para o cultivo do trigo é o nitrogênio (N), em

que as plantas conseguem absorver apenas cerca de 50% do N fornecido via fertilizante, enquanto o restante é perdido por lixiviação, volatilização e outros processos (Dobbelaere et al., 2002). O potássio (K) e o fósforo (P) também são determinantes no cultivo, contribuindo para aumentos de produtividade e qualidade dos grãos, e possuem baixo aproveitamento pelas plantas quando aplicados ao solo. Além disso, os nutrientes minerais aplicados em excesso podem ser perdidos por lixiviação e deflagrar problemas ambientais, como eutrofização das águas e degradação de solos (Pires et al., 2011).

A partir dessa situação entende-se como necessária a busca por potenciais soluções que possam contribuir para elevar a produtividade sem que se aumente o uso de fertilizantes. Nesse contexto, a utilização de microrganismos promotores de crescimento de plantas e a inoculação destes no trigo e em outras espécies tem potencial para atender ao exposto. O uso de produtos biológicos com microrganismos promotores de crescimento vegetal tem aumentado globalmente nos últimos anos. Esses produtos proporcionam maior sustentabilidade e ganhos econômicos aos produtores além de promoverem aumento de produtividade em diversas culturas sem o uso de produtos químicos. Apresentam também resultados positivos mesmo em condições adversas ao crescimento vegetal, sendo consequência dos diferentes mecanismos de ação benéficos às plantas que esses microrganismos possuem (Oliveira et al., 2003).

Alguns microrganismos já conhecidos, ao serem inoculados em plantas, promovem o crescimento das plantas por mecanismos como estímulo do sistema radicular, modulação do sistema hormonal das plantas, indução de resistência a doenças, dentre outros (Vessey, 2003). Dentre os microrganismos utilizados para promover o crescimento de plantas, as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) tem grande relevância devido sua capacidade de atuar na interação planta-solo (Oliveira et al., 2003) e aos diferentes mecanismos de ação, como produção de fitormônios que influenciam no crescimento vegetal, síntese enzimática, produção de sideróforos, fixação biológica de nitrogênio, indução de resistência a patógenos e pragas e solubilização de nutrientes (Asghar et al., 2002; Mariano et al., 2004; Glick, 2005).

As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCP) atuam por diferentes mecanismos diretos e indiretos (Glick, 1995). Diretamente, produzem sideróforos, enzimas, hormônios, solubilizam fosfatos e fixam nitrogênio. Indiretamente, induzem resistência a patógenos e antagonismo. A promoção de crescimento depende do gênero ou linhagem das BPCP. Esses mecanismos conferem benefícios às plantas hospedeiras.

A enzima ACC desaminase, produzida pelas BPCP, também contribui para o desenvolvimento vegetal ao reduzir os níveis de etileno nas plantas, promovendo seu crescimento (Glick, 2005; Nascimento, 2011). AS BPCP protegem as plantas do estresse ambiental causado pelo excesso de etileno. Sua inoculação pode aumentar a sobrevivência de mudas após a semeadura (Glick et al., 1999). A presença de BPCP com ACC desaminase pode reduzir os níveis de etileno em até 2 a 4 vezes (Penrose et al., 2001).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de dez isolados de bactérias produtoras de ACC desaminase para a promoção de crescimento vegetal de trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição geral do experimento

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis/SC. O solo utilizado possui as seguintes características: 0,9% de matéria orgânica, 11,1 mg/dm³ de fósforo, 158,6 mg/dm³ de potássio, 8,3 cmolc/dm³ de cálcio e 8,4 cmolc/dm³ de magnésio. Esse solo foi peneirado e corrigido com calcário dolomítico (PRNT 60%) visando atingir pH 6,0 e foi posteriormente adicionado em tubetes já autoclavados. Cada unidade experimental foi constituída de um tubete com capacidade de 350 mL e foram semeadas em torno de 20 sementes em cada unidade experimental.

Os isolados utilizados neste trabalho foram obtidos de Nascimento (2018). Previamente à inoculação, os isolados foram crescidos em meio de cultura Caldo Triptona Soja (Trypticase Soy Broth – TSB), contendo Triptona (17,0 g L^{-1}), Digestão Papaica de Farinha de Soja (3,0 g L^{-1}), Glicose (2,5 g L^{-1}), Cloreto de Sódio (5,0 g L^{-1}) e Fosfato Dipotássico (2,5 g L^{-1}), com pH 7,3. Os isolados foram multiplicados por 48 horas em incubadora com agitação de 135 rpm a 28 ºC e então inoculados na superfície das sementes dispostas para cada tubete, com 1 mL de inóculo contendo 10^{-9} células mL^{-1}. As sementes de trigo, da cultivar TBIO CONVICTO, utilizadas no experimento foram cedidas pela empresa BioTrigo.

A sala e a bancada onde foi realizado o experimento foram previamente higienizadas com hipoclorito de sódio com concentração de 2,5% e álcool 70º antes de receber os tubetes. As plantas cresceram sob um fotoperíodo de 12 horas diárias, iluminadas com lâmpadas tubulares de cor fria (6000 lumens/m^2). A temperatura média no período do experimento foi de 20 ºC.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com 11 tratamentos e sete repetições. No tratamento 1 não foi realizada inoculação (testemunha); do segundo ao décimo primeiro foram inoculados os isolados bacterianos descritos no quadro 1. O período de condução do experimento foi de 20 de abril a 01 de junho de 2022.

Nome da bactéria	Código da bactéria	Compostos e enzimas produzidos
Não inoculado – sem tratamento	--	--
Achromobacter insolitus	AB2	Enzimas (protease, esterase, amilase)
Arthrobacter spp.	PM3	AIA, enzimas (lipase, amilase), acetoína
Microbacterium laevaniformans	PM5	AIA, sideróforos, enzimas (protease, amilase, celulase), acetoína, redução de nitrato
Pseudomonas arsenicoxydans	ACM1	AIA, sideróforos, solubilização de fosfatos
Pantoea cypripedii	NE1	AIA, sideróforos, solubilização de fosfatos, enzimas (protease, lipase, amilase), redução de nitrato, produção de amônia
Pseudomonas mohnii	PLMAX	AIA, sideróforos, solubilização de fosfatos, enzimas (lipase, amilase), produção de poliamina, produção de NO ou N_2 a partir da redução de nitrato, produção de amônia
Pseudomonas oryzihabitans	MS8	AIA, sideróforos, solubilização de fosfatos, enzimas (lipase, amilase e celulase), produção de poliamina, redução de nitrato, produção de amônia
Pantoea phytobeneficialis	MSR2	AIA, sideróforos, solubilização de fosfatos, redução de nitrato
Pseudomonas putida	IAAD1	AIA
Serratia grimesii	BXF1	AIA, sideróforos, solubilização de fosfatos, enzimas (protease, lipase, esterase, celulase), acetoína, produção de poliamina, redução de nitrato, produção de amônia

Quadro 1 – Identificação dos tratamentos.

Aos sete dias foi realizado o desbaste das plantas, mantendo dez plantas por unidade experimental, quantidade determinada a fim de avaliar os parâmetros de massa seca da parte aérea, visto que as folhas do trigo possuem área foliar pequena, além da massa seca das raízes.

Coleta do experimento e variáveis analisadas

A coleta foi realizada 42 dias após semeadura (DAS) e as plantas foram secas em estufa com circulação de ar, na temperatura de 65 ºC até alcançarem peso constante. As variáveis avaliadas foram: massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides) e macronutrientes (teores e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na MSPA).

Determinação de pigmentos fotossintéticos e nutrientes do tecido vegetal

A avaliação dos teores de pigmentos fotossintéticos foi determinado por meio da extração com solução de dimetilsulfóxido (DMSO), segundo metodologia adaptada de Kuki et al. (2005). 0,1g de tecido foliar fresco foi adicionado em tubo do tipo Falcon e o material foi incubado em 6 mL de DMSO por 2 horas, em temperatura ambiente. As absorbâncias

dos extratos foram determinadas por meio de espectrofotômetro UV-VIS (SpectraMax® Paradigm® Multi-Mode Microplate Reader, CA, USA), nos comprimentos de onda 480, 649 e 665 *nm*. Os teores dos pigmentos fotossintéticos foram determinados segundo as equações propostas por Wellburn (1994).

A MSPA foi moída em moinho de facas tipo Willye (Tecnal, SP, Brasil) e submetida a digestão sulfúrica para posterior determinação dos teores de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio), seguindo metodologia de Tedesco (1995).

Análise estatística

A análise estatística foi realizada através do software R (R CORE TEAM, 2020). Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade de variância através do teste de Bartlett e ao teste de normalidade de resíduos (Shapiro-Wilk), e posterior análise de variância (ANOVA). As médias foram separadas por Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Tanto a ANOVA quanto a separação de médias foram executados utilizando o pacote "ExpDes" (Ferreira et al., 2021). Os gráficos foram gerados com as respectivas médias e erros padrões utilizando o pacote "metan" (Olivoto & Lucio, 2020).

RESULTADOS

Foi observada uma diferença significativa na MSPA entre os tratamentos, como ilustrado no gráfico 1a (Figura 1). Os tratamentos que envolveram a inoculação com *Arthrobacter spp., Pseudomonas arsenicoxydans, P. mohnii* e *P. oryzihabitans* demonstraram um desempenho superior, resultando em valores médios de MSPA cerca de 37% maiores em comparação com o tratamento não inoculado. Não foram encontradas diferenças significativas nos demais tratamentos em relação ao tratamento sem inoculação.

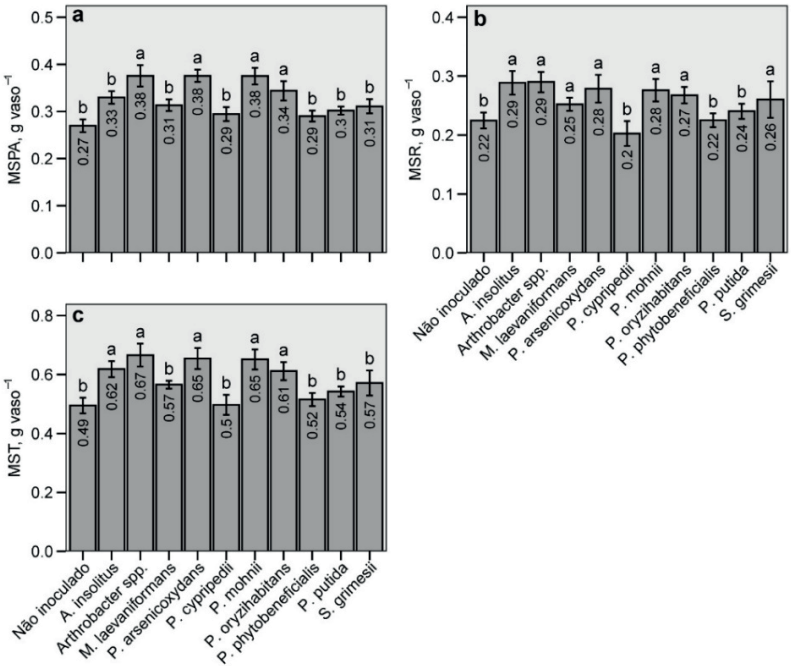


Figura 1. Gráfico 1a: Massa seca da parte aérea (MSPA g vaso^{-1}), gráfico 1b: massa seca da raiz (MSR g vaso^{-1}) e gráfico 1c: massa seca total (MST g vaso^{-1}) de trigo com e sem inoculação de diferentes isolados bacterianos.

Na análise da MSR, como representado no gráfico 1b, foram observadas diferenças significativas nos tratamentos que receberam inoculação com *Achromobacter insolitus, Arthrobacter spp., Microbacterium laevaniformans, Pseudomonas arsenicoxydans, P. mohnii, P. oryzihabitans* e *Serratia grimesii*. Estes tratamentos apresentaram um aumento médio de 18% em relação à média dos demais tratamentos. Quanto à MST, conforme mostrado no gráfico 1c, *A. insolitus, Arthrobacter spp., P. arsenicoxydans, P. mohnii* e *P. oryzihabitans* exibiram um incremento médio de 21% em comparação com a média dos outros tratamentos.

Foi evidenciada uma diferença significativa no teor de clorofila *a* do trigo, conforme ilustrado no gráfico 2ª (Figura 2). Os isolados *Microbacterium laevaniformans, Pseudomonas putida* e *Pseudomonas mohnii* apresentaram um teor médio 38% superior ao do tratamento não inoculado, enquanto os isolados *A. insolitus, Arthrobacter spp., P. arsenicoxydans, Pantoea cypripedii, P. oryzihabitans* e *Pantoea phytobeneficialis* promoveram um aumento médio de 25% em relação ao tratamento não inoculado. No que diz respeito à clorofila *b* (gráfico 2b) e aos carotenoides (gráfico 2c), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos inoculados, entretanto, em comparação com o tratamento não inoculado, os teores médios de clorofila *b* e carotenoides foram aproximadamente 29% e 25% maiores, respectivamente.

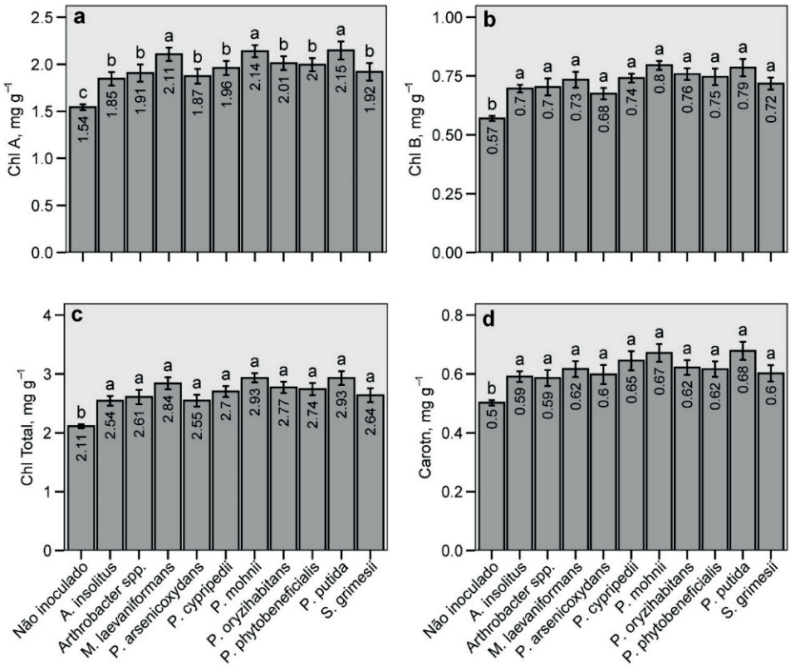


Figura 2. Gráfico 2a: teores de clorofila *a* (Chl A mg g^{-1}), gráfico 2b: clorofila *b* (Chl B mg g^{-1}), gráfico 2c: clorofila total (Chl total mg g^{-1}) e gráfico 2d: carotenoides (Carotn mg g^{-1}) em trigo sem inoculação e inoculado com dez diferentes isolados bacterianos.

No que diz respeito aos teores de nitrogênio, conforme ilustrado no gráfico 3a (Figura 3), os isolados *P. arsenicoxydans, Pantoea cypripedii, P. mohnii, Pantoea phytobeneficialis* e *Serratia grimesii* demonstraram um aumento de 15% em comparação com os demais tratamentos. Foi observado um acréscimo nos teores de fósforo (gráfico 3b) nos tratamentos com *A. insolitus, P. arsenicoxydans, Pantoea cypripedii, P. mohnii, P. phytobeneficialis* e *Serratia grimesii*, representando um aumento médio de 21% em relação à média dos demais tratamentos. Quanto aos teores de potássio (gráfico 3c), os isolados *Pseudomonas arsenicoxydans* e *Pantoea phytobeneficialis* promoveram um aumento médio de 25% em relação à média dos demais tratamentos. Os isolados de *A. insolitus, P. arsenicoxydans, Pantoea cypripedii* e *P. putida* foram capazes de induzir um incremento médio de 17% nos teores de cálcio (gráfico 3d) em comparação com os demais tratamentos, em média. Não foram observadas diferenças significativas nos teores de magnésio (gráfico 3e).

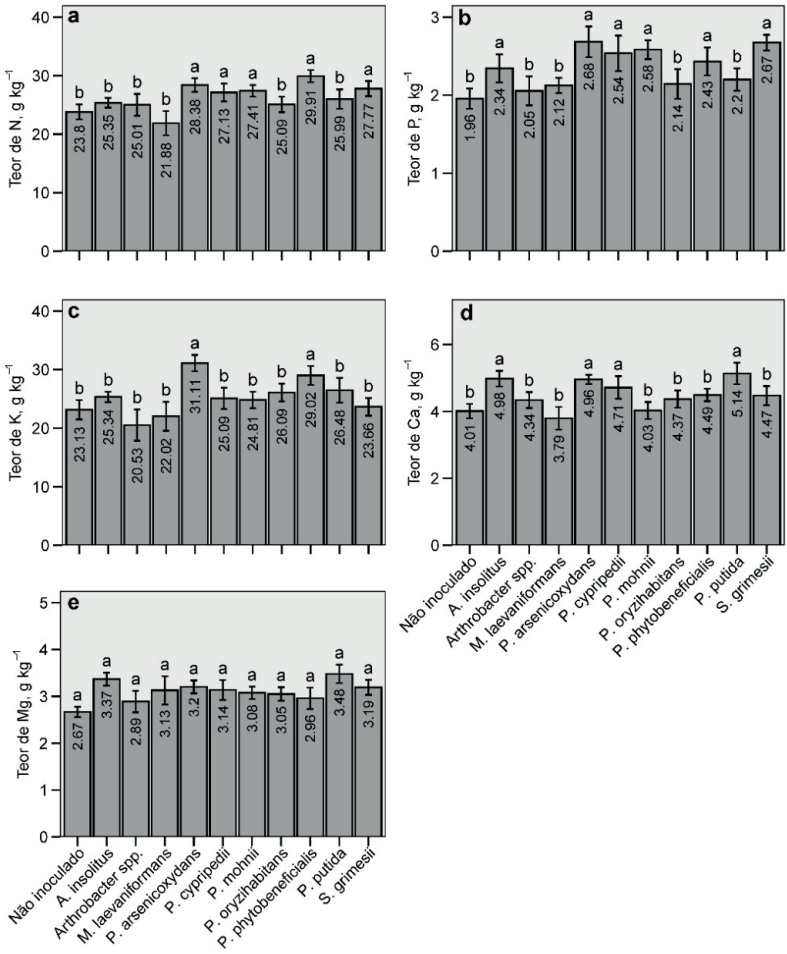


Figura 3. Figura 3a: teores de Nitrogênio (N g kg^{-1}), figura 3b: teores de Fósforo (P g kg^{-1}), figura 3c: teores de Potássio (K g kg^{-1}), figura 3d: teores de Cálcio (Ca g kg^{-1}) e figura 3e: teores de Magnésio (Mg g kg^{-1}) em trigo sem inoculação e inoculado com dez diferentes isolados bacterianos.

O acúmulo de nutrientes na MSPA também foi examinado (Figura 4). *Arthrobacter spp., P. arsenicoxydans* e *P. mohnii* promoveram um aumento médio de 21% no teor de nitrogênio (gráfico 4a) em comparação com a média dos isolados *A. insolitus, Pantoea cypripedii, P. oryzihabitans, P. phytobeneficialis, P. putida* e *S. grimesii,* e um aumento médio de 51% em relação à média dos demais tratamentos. Quanto ao fósforo (gráfico 4b), *P. arsenicoxydans, P. mohnii* e *S. grimesii* demonstraram um incremento de 45% em relação aos outros tratamentos. Para o potássio (gráfico 4c), *P. arsenicoxydans* apresentou um teor 36% superior aos isolados *A. insolitus, P. mohnii, P. oryzihabitans, P. phytobeneficialis* e *P. putida,* e um teor 67% superior aos demais tratamentos. No acúmulo de cálcio na parte aérea (gráfico 4d), os isolados *A. insolitus, Arthrobacter spp., P. arsenicoxydans, P. mohnii, P. oryzihabitans* e *P. putida* induziram um aumento médio de 27% em relação aos demais

tratamentos, enquanto para o acúmulo de magnésio (gráfico 4e), os isolados *A. insolitus, Arthrobacter spp., M. laevaniformans, P. arsenicoxydans, P. mohnii, P. oryzihabitans, P. putida* e *S. grimesii* exibiram um teor médio 29% superior aos demais tratamentos.

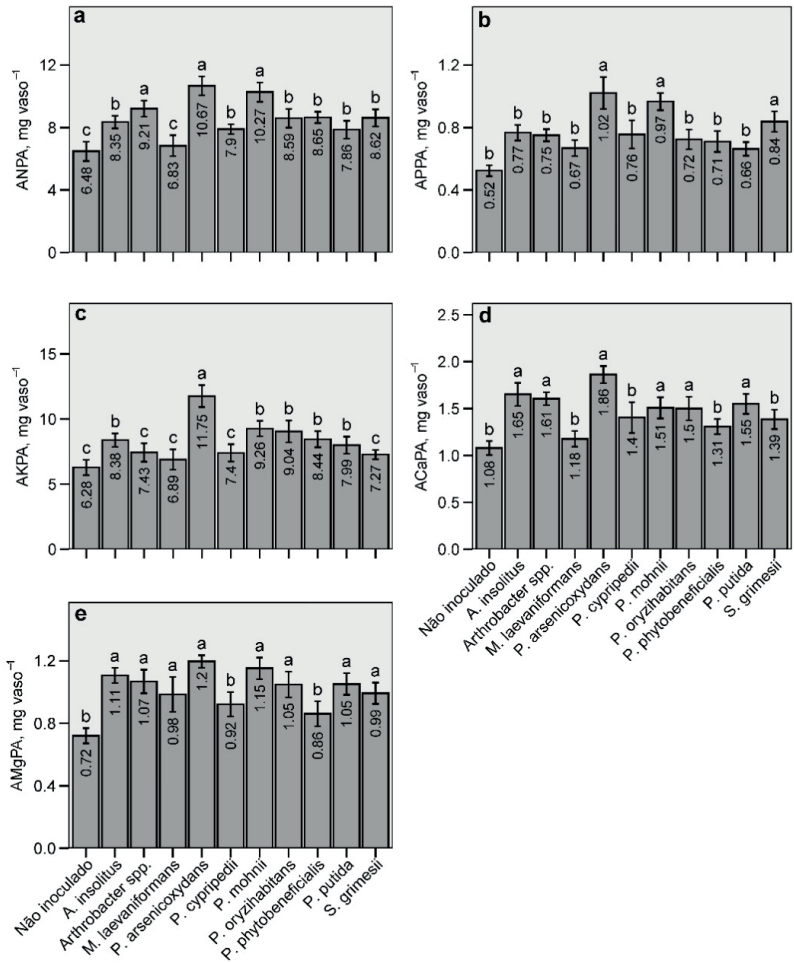


Figura 4. Gráfico 4a: acúmulo de nitrogênio (ANPA mg vaso^{-1}), gráfico 4b: acúmulo de fósforo (APPA mg vaso^{-1}), gráfico 4c: acúmulo de potássio (AKPA mg vaso^{-1}), gráfico 4d: acúmulo de cálcio (ACaPA mg vaso^{-1}) e gráfico 4e: acúmulo de magnésio (AMgPA mg vaso^{-1}) na parte aérea de trigo sem inoculação e inoculado com isolados bacterianos.

DISCUSSÃO

Para otimizar a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) (Figuras 1a e 1b), observou-se que três isolados do gênero *Pseudomonas* (*P. arsenicoxydans, P. mohnii* e *P. putida*), além do tratamento com *P. phytobeneficialis*, foram eficazes na promoção do crescimento das plantas. Esses isolados também contribuíram para a produção de MST, juntamente com o tratamento com *A. insolitus* (gráfico 1c). Estudos anteriores sugerem que bactérias do gênero *Pseudomonas* podem influenciar o crescimento de diversas espécies vegetais por meio de diferentes mecanismos de ação (Guimarães et al., 2021; Oliveira et al., 2012; Santos, 2019). Özdoğan et al. (2022) constataram que isolados de *Pseudomonas* e *Arthrobacter* apresentaram elevadas taxas de produção de ácido indolacético (AIA) quando inoculados em plantas de trigo. Fischer e colaboradores (2007) demonstraram que isolados bacterianos altamente relacionados a *Pseudomonas*, identificados por análises de DNA, aumentaram em 23% a massa seca da parte aérea e em 45% a massa seca das raízes do trigo.

Nascimento (2018) avaliou os isolados bacterianos utilizados no presente experimento em relação à produção de AIA e sideróforos, identificando que os isolados foram capazes de produzir estes compostos, com exceção de *Achromobacter* e *Arthrobacter* que não produziram sideróforos. O autor investigou também a importância ecológica da enzima ACC desaminase, que degraga o ácido 1-aminociclopropano carboxílico (ACC), minimizando os efeitos do etileno no crescimento vegetal. Sabendo que a enzima ACC desaminase é ativa nestes isolados, sugere-se que a sua ação enzimática é um dos mecanismos de ação destes na promoção de crescimento das plantas, aliados a ação dos demais compostos presentes (ácido indolacético (AIA), sideróforos, produção de amônia, solubilização de fosfatos). Constata-se assim os diferentes mecanismos de ação dos isolados bacterianos atuando nas plantas de trigo.

O Ácido Indolacético (AIA) é um fito-hormônio do grupo das auxinas, que desempenha um papel crucial na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas. Além de induzir a elongação celular em espécies vegetais, o AIA também tem a capacidade de promover a germinação de sementes, influenciar a formação de pigmentos e participar na biossíntese de diversos metabólitos. Evidências indicam que o AIA desempenha um papel importante na resposta das plantas ao estresse, ajudando a mitigar os efeitos adversos de condições ambientais desfavoráveis (Kuss et al., 2007; Spaepen & Vanderleyden, 2011).

Além do AIA, destaca-se a ação dos sideróforos, capazes de solubilizar o ferro na rizosfera, e estimulam o crescimento vegetal ao facilitar a absorção desse elemento pelas plantas, promovendo o desenvolvimento radicular (Benite et al., 2002). Estudos documentam a produção de sideróforos por bactérias do gênero *Pseudomonas* (Kloppler et al.,1980; Tian et al., 2009; Nascimento, 2018). Além disso, *P. fluorescens e P. putida* foram identificados como produtores de sideróforos (Kloppler et al., 1980). A melhoria da MSR,

induzida por BPCP, está correlacionada à maior eficiência na absorção de minerais e água, favorecendo o crescimento das plantas (Oliveira et al., 2003). Estudos evidenciaram que a inoculação de *Brassica juncea* com *Pseudomonas* spp. promoveu o crescimento vegetal (Rajkumar & Freitas, 2008).

Nas condições deste experimento, a ação da ACC desaminase, a produção de AIA e de sideróforos podem ter contribuído para incrementos na MSPA e MSR, assim como estes compostos relacionam-se também com as demais variáveis avaliadas, dado que todos os isolados utilizados produzem esses compostos, exceto *Achromobacter insolitus* que não produz AIA nem sideróforos, e *Arthrobacter* spp. que não produz sideróforos, o que pode também demonstrar mecanismo de ação através de outros meios, como a ação enzimática presente nos isolados.

Os teores de pigmentos fotossintéticos estão intimamente ligados aos níveis de nutrientes na planta, especialmente de nitrogênio, uma vez que uma parcela significativa do nitrogênio presente nas folhas compõe as clorofilas *a*, *b* e os carotenoides, influenciando o ciclo de Kelvin (Latsague et al., 2014). Estudos mostram que a taxa fotossintética está correlacionada com a concentração de nitrogênio nas plantas, devido ao efeito deste nutriente na resistência estomática e na atividade da enzima Rubisco, resultando em um aumento na taxa fotossintética em resposta ao incremento nos teores de nitrogênio (Costa et al., 1988). A ação das BPCP pode afetar a absorção de nutrientes pelas plantas, sendo que pesquisas têm demonstrado o potencial de bactérias do gênero *Pseudomonas* na promoção do crescimento vegetal (Godoy, 2020). Embora estudos anteriores tenham associado o aumento nos teores de nitrogênio à inoculação de trigo com bactérias do gênero *Azospirillum* (Sala et al., 2007; Dalla Santa et al., 2008), há poucas pesquisas envolvendo bactérias de outros gêneros (Brenneck et al., 2016; Quecine et al., 2012; Sala et al., 2008), como as utilizadas neste estudo.

A. insolitus, *P. arsenicoxydans, Pantoea cypripedii, P. mohnii, P. phytobeneficialis* e *Serratia grimesii* obtiveram destaque quanto aos teores de fósforo. O fósforo no solo possui baixa mobilidade e desta forma encontra-se menos disponível para absorção pelo sistema radicular das plantas (Novais & Smyth, 1999; Resende & Furtini-Neto, 2007). Alguns microrganismos do solo tem a capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis, produzindo compostos orgânicos que, ao acidificar o solo, liberam íons fosfato solúveis capturados pelas plantas (Jones, 1998). A solubilização do fosfato pode ser elencada como um dos mecanismos de ação das BPCP, aumentando a disponibilidade de fósforo para a planta (Kloepper et al., 1989) porém a variedade de mecanismos de ação que podem ser atribuídos às bactérias faz com que seja difícil demonstrar exatamente qual o efeito que a solubilização dos fosfatos produz nas plantas.

Outro nutriente importante nos processos bioquímicos de plantas é o potássio. Depois do nitrogênio, é o nutriente absorvido em maior quantidade por espécies vegetais (Marschner, 1995; Viana & Kiehl, 2010). O potássio é o cátion mais abundante em todas

as culturas, estando presente nos tecidos, e é considerado o mais móvel dos nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera (Malavolta, 2005). O potássio e o nitrogênio são os maiores responsáveis pela qualidade e produtividade do trigo (Viana & Kiehl, 2010). Esses macronutrientes em conjunto com fósforo, cálcio, magnésio e enxofre são componentes estruturais, alguns deles atuando nos processos bioquímicos da fotossíntese e na estrutura dos fitormônios e até mesmo na manutenção da produtividade das espécies vegetais.

Além dos mecanismos mencionados como possíveis formas de ação, os efeitos indiretos podem contribuir para a promoção do crescimento do trigo, incluindo a potencial proteção contra patógenos. Esses efeitos podem ocorrer em associação ou não com os efeitos diretos atribuídos à ação de substâncias como o Ácido Indolacético (AIA), sideróforos, enzimas, solubilização de fosfatos, produção de amônia, entre outros, conforme descrito por Nascimento (2018). A avaliação dos isolados bacterianos com potencial de promoção de crescimento neste estudo tem importância devido à sua possível aplicação futura como inoculantes direcionados para incrementar a produtividade em cultivos de trigo.

Com base nos resultados deste estudo, juntamente com experimentos futuros para complementá-lo, pode-se considerar a possibilidade de desenvolver produtos comerciais com base nos isolados destacados. Para isso, serão necessários novos experimentos, incluindo testes em campo e a validação dos isolados de acordo com as diretrizes dos órgãos reguladores, garantindo a qualidade e segurança ao longo da cadeia produtiva do trigo.

CONCLUSÕES

Os tratamentos com *Achromobacter insolitus, Arthrobacter spp., Pseudomonas arsenicoxydans, Pantoea cypripedii* e *Pseudomonas mohnii* foram os mais eficazes na promoção do crescimento da parte aérea do trigo. Apesar de *Achromobacter insolitus* não produzir ácido indolacético e sideróforos, apresentou bom desempenho na massa seca da raiz e nos teores de fósforo, cálcio e magnésio.

O tratamento com *Pseudomonas arsenicoxydans* demonstrou maiores aumentos na massa das plantas, nos teores de potássio e fósforo, e no acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio no tecido vegetal, sugerindo sua capacidade de promover o crescimento do trigo. Entre os isolados eficazes, destacam-se as espécies *Pseudomonas arsenicoxydans, Pseudomonas oryzihabitans* e *Pseudomonas mohnii.*

REFERÊNCIAS

ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. Estatísticas Trigo. Consumo mundial de trigo. Julho 2022. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/wp-content/uploads/2021/02/CONSUMO-MUNDIAL-DE-TRIGO-2017-2021.pdf> Acesso em 05 jul 2022.

ASGHAR, H., ZAHIR, Z., ARSHAD, M., KHALIQ, A. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 4, p. 231-237, 2002.

BENITE, A. M. C.; MACHADO, S. P.; MACHADO, B. C. Sideróforos: uma resposta dos microrganismos. Quím. Nova. 2002, vol.25, n.6b, pp. 1155-1164.

BRENNECK, K., BERTIPAGLIA, L. M. A., ANTONIAZZI, A., SOUZA, E. F. Inoculação da bactéria *Pseudomonas fluorescens* no índice de crescimento da *Brachiaria decumbens*. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, 14, 217-224, 2016.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira – grãos: Nono levantamento, junho 2022 – safra 2021/2022. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>.

COSTA, R. C. L.; LOPES, L. F.; OLIVA, M. A.; DE BARROS, N. F. Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, p. 1371-1379, 1988.

DALLA SANTA, O. R.; DALLA SANTA, H. S.; FERNÁNDEZ, R.; MICHELENA, G.; JÚNIOR, P. R.; SOCCOL, C. R. Influência da inoculação de *Azospirillum* sp. em trigo, cevada e aveia. **Ambiência**, v.4, n.2, p.197-207, 2008.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGHS, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. **Biology and Fertility of Soils**, v. 36, n. 4, p. 284-297, 2002.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: experimental designs package. R package version 1.2.2. 2021. Disponível em: http://CRAN.R-project.org/ package=ExpDes

FISCHER, S. E.; FISCHER, S. I; MAGRIS, S.; MORI, G. B. Isolation and characterization of bacteria from the rhizosphere of wheat. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 23, n. 7, p. 895-903, 2007.

GLICK, B. R. Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme ACC desaminase. **FEMS Microbiology Letters**, v. 251, n. 1, p. 1-7, 2005.

GLICK, B. R. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 41, p. 109-117, 1995.

GLICK, B. R; PATTEN, C. L.; HOLGUIN, G.; PENROSE, D. M. Biochemical and genetics mechanisms used by plant growth promoting bacteria. **Word Scientific**, 1999.

GLICK, B. R.; PENROSE, D. M.; LI, J. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. **Journal of theoretical biology**, v. 190, n. 1, p. 63-68, 1998.

GODOY, F. A. Identificação de bactérias promotoras de crescimento de trigo e seu impacto na comunidade bacteriana da rizosfera. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; KLEIN, D. K. Promoção de crescimento e solubilização de fosfato na cultura da soja: coinoculação de sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e *Pseudomonas fluorescens*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e366101120078-e366101120078, 2021.

JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. **Plant and Soil**, v. 205, 1998.

KLOEPPER, J. W.; LEONG, J.; TEINTZE, M.; SCHROTH, M. N. Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. **Nature**, v. 286, n. 5776, p. 885-886, 1980.

KLOEPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. **Trends in Biotechnology**, v. 7, p. 39-44, 1989.

KUKI, K. N.; OLIVA, M. A.; GOMES F. P.; COSTA, A. C. Avaliação da eficiência do dimetilsulfóxido na extração de pigmentos foliares de *Schinus terebenthifolius* e *Cocos nucifera*. In: X Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal e XII Congresso Latino-Americano de Fisiologia Vegetal, Recife. **Anais**, SBFV. CD Rom, 2005.

KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1459-1465, 2007.

LATSAGUE, M.; SAEZ, P.; MORA, M. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook. f. **Gayana Botanica**, v. 71, n. 1, p. 37-42, 2014.

MALAVOLTA, E. Potássio – Absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, T; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, p. 179-230, 2005.

MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B.; ASSIS, S. M. P. de; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, vol. 1, p.89-111, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 1995, 889 p.

NASCIMENTO, F. I. X. 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminase em estirpes de Mesorhizobium: prevalência e efeito na simbiose com Cicer arietinum. 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Bioquímica, Universidade de Évora, Évora, 2011.

NASCIMENTO, F. I. X. Promoting plant growth using ACC desaminase-producing bacteria: insights into plant-bacterial interactions and agricultural and biotechnological applications. 2018. 441 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal. Embrapa Agrobiologia, 2003. 40p. **Embrapa Agrobiologia Documentos**, 161, 2003.

OLIVEIRA, M. A.; ZUCARELI, C.; SPOLAOR, L. T.; DOMINGUES, A. R.; FERREIRA, A. S. Desempenho agronômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1040-1046, 2012.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783-789, 2020.

ÖZDOĞAN, D. K.; AKÇELIK, N.; AKÇELIK, M. Genetic diversity and characterization of plant growth-promoting effects of bacteria isolated from rhizospheric soils. **Current Microbiology**, v. 79, n. 5, p. 1-11, 2022.

PENROSE, D. M.; MOFFATT, B. A.; GLICK, B. R. Determination of 1-aminocycopropane-1-carboxylic acid (ACC) to assess the effects of ACC desaminase-containing bacteria on roots of canola seedlings. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 1, p. 77-80, 2001.

PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Ed.). Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, cap. 6, p. 135-184, 2011.

QUECINE, M. C., ARAÚJO, W. L., ROSSETO, P. B., FERREIRA, A., TSUI, S., LACAVA, P. T., MONDIN, M., AZEVEDO, J. L. D., PIZZIRANI-KLEINER, A. A. Sugarcane growth promotion by the endophytic bacterium *Pantoea agglomerans* 33.1. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78 (21), p. 7511-7518, 2012.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: https://www.R-project.org/

RAJKUMAR, M.; FREITAS, H. Effects of inoculation of plant growth promoting bacteria on Ni uptake by Indian mustard. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 3491 - 3498, 2008.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E. Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos de cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 32 p.

SANTOS, Luís Alberto Lima dos. Efeitos da co-inoculação de *azospirillum brasilense* e *pseudomonas fluorescens* associados adubação química e orgânica na cultura do milho. 2019. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2019.

SALA, V. M. R.; CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, J. G. de; SILVEIRA, A. P. D. de. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.833-842, 2007.

SALA, V. M. R.; CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, J. G.; SILVEIRA, A. P. D. Novas bactérias diazotróficas endofíticas na cultura do trigo em interação com a adubação nitrogenada, no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1099-1106, 2008.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J. Auxin and plant-microbe interactions. **Cold Spring Harbor perspectives in biology**, v. 3, n. 4, p. a001438, 2011.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TIAN, F.; DING, Y.; ZHU, H.; YAO, L.; DU, B. Genetic diversity of siderophore-producing bacteria of tobacco rhizosphere. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 40, p. 276-284, 2009.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and soil**, v. 255, n. 2, p. 571-586, 2003.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v. 69, p. 975-982, 2010.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, Lancaster, v.144, n.3, p.307-313, 1994.

RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA MATOS: Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade de Pernambuco - UPE (2009), Mestre em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal do Piauí - UFPI (2012), com bolsa do CNPq. Doutora em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2016), com bolsa da CAPES. Atualmente é professora adjunta do curso de Agronomia do Centro de Ciências de Chapadinha (CCCh) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em fitotecnia, fisiologia das plantas cultivadas, propagação vegetal, manejo de culturas, nutrição mineral de plantas, adubação, atuando principalmente com fruticultura e floricultura.
http://lattes.cnpq.br/0720581765268326

JANAIANE FERREIRA DOS SANTOS: Graduada em Agronomia pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) do Centro de Ciências de Chapadinha- CCCh. Fez parte do Programa de Residência em Fruticultura no Leste Maranhense (UFMA). Atualmente é mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCAM) da Universidade Federal do Maranhão.
http://lattes.cnpq.br/967850054910769

GILCYVAN COSTA DE SOUSA: Mestrando em Ciências Ambientais e Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA/CCCh). Foi bolsista voluntário de Iniciação Científica pela Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico Tecnológico do Estado do Maranhão (FAPEMA) e, atualmente, faz parte do grupo de pesquisa do Laboratório de Anatomia Animal e Comparada/UFMA, no qual desempenha atividades de pesquisa relacionadas ao Didelphis marsupialis (Linnaeus, 1758), com foco em anatomia descritiva.
https://orcid.org/0000-0003-1928-1845
http://lattes.cnpq.br/7127906391948790

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agricultura 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 36, 42, 56, 58, 61, 63, 64, 65, 83, 101, 124, 137

Agronegócio 5, 13

Alternative foods 69

Aminoácidos 112, 113, 114, 115, 116, 117, 119, 121, 122

Análise bibliométrica 4, 5, 13

Análise biométrica 99

Animal production 44, 54

Autoimune 1, 2

Avaliação 13, 14, 35, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 83, 88, 91, 109, 127, 135, 137

Avaliação quantitativa 56, 57, 61

B

Bacillus subtilis 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 49

Bioinsumos 4, 5, 6, 14

BPCP 124, 125, 134

C

Cães 1, 2, 3, 69, 70

Citros irrigados 63

Clima 16, 80, 99, 100

Coco anão 78

Cocos nucifera 78, 79, 81, 83, 137

Colorimetria 56

Contaminação 16, 107, 108

Controle de plantas 88, 89, 90, 95, 96

Cultivo 63, 65, 81, 83, 88, 90, 91, 93, 94, 96, 100, 113, 114, 124, 125

D

Defumado 56, 57

Delmiro Gouveira, AL 63

E

Edible insect 68, 70, 71

Equinos 106, 107, 108, 109

Ergonomia 85

Exogenous enzymes 44

F

Food industry 53, 69, 70, 75

Fumaça 56, 57, 58, 61

G

Gotejamento 63, 66, 67, 78, 79, 80

H

Hematologia 113

Hepático 113, 117

Híbridos 98, 99, 102, 103, 104, 105

Histopatológico 1, 108

I

Idiopática 1, 3

L

Lima ácida 63, 64, 65, 66, 67

M

Macronutrientes 123, 124, 127, 128, 135

Madeira 56, 57, 60, 61

Mecanização agrícola 85

Meio ambiente 16, 36, 42

Melancia 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96

Microaspersão 78, 79, 80, 82

Microrganismos 110, 123, 124, 125, 134, 136, 138

Milheto 88, 89, 90, 91, 94, 95, 96

Milho 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 115, 138

Mortadela 56, 57, 58, 59, 60, 61

N

Norma NR 15 85

Nutrition 52, 54, 69, 70, 71, 72, 75, 76, 77, 113, 118, 119, 120, 121, 122, 137

P

Pênfigo 1, 2, 3

Pets 69, 70, 74, 77

Phytate 44, 45, 46, 48, 53, 54

Pig 43, 52

Pigmentos fotossintéticos 123, 124, 127, 128, 134

Piscicultura 113, 114, 118, 121

Pneumonia fúngica 106, 107

Poultry 43, 52, 54, 118

Produtividade 4, 5, 65, 66, 81, 88, 89, 90, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 105, 118, 125, 135

ProKnow-C 5, 7, 8, 13

Proteínas 58, 112, 113, 114, 117, 137

Prurido 1

Pulverizador 84, 85, 86

R

Região tropical 16

Revisão de literatura 141

Rizobactéria 4, 5

Rrigação 141

S

Solo 6, 16, 35, 37, 65, 66, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 89, 90, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 125, 126, 134, 135, 137, 138, 139

T

Trator agrícola 84, 85, 86

Triticum aestivum L. 123, 124

Trópicos 16

U

Uso eficiente da água 63, 78, 83

V

Variáveis metabólicas 112

Z

Zea mays 99, 103, 104, 105

CULTIVANDO O FUTURO

TENDÊNCIAS E DESAFIOS NAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 4

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2024

CULTIVANDO O FUTURO

TENDÊNCIAS E DESAFIOS NAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 4

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2024